

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



**Fakulta strojní**

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské technologie

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

### **Production and verification of top console for power grid of 22kV**

Ondřej Maurer

**KSP – SM – B43**

Vedoucí práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..

Konzultant:

#### **Rozsah práce a příloh:**

|                |    |
|----------------|----|
| Počet stran:   | 66 |
| Počet příloh:  | 25 |
| Počet tabulek: | 12 |
| Počet obrázků: | 44 |

24. 5. 2013

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

|                  |                                         |
|------------------|-----------------------------------------|
| Jméno a příjmení | <b>Ondřej Maurer</b>                    |
| Studijní program | <b>B2341 Strojírenství</b>              |
| Studijní obor    | <b>3911R018 Materiály a technologie</b> |
| zaměření         | <b>Strojírenská technologie</b>         |

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s konstrukčním řešením a způsobem výpočtů vrcholových konzol
2. Zpracujte přehled norem a předpisů, které se vztahují k metodice výpočtů.
3. Popište metodické postupy ověřování funkčnosti vrcholových konzoly ve firmě ENERGETIKA SERVIS s.r.o.
4. Na vybraném typu vrcholové konzoly realizujte pevnostní výpočet a ověření funkčnosti
5. Porovnejte různé metodické postupy výpočtů konzol



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu cca 30 stran
- grafické práce: grafy, tabulky

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

[1] Normy ČSN, EN, ISO

[2] Podklady firmy ENERGETIKA SERVIS s.r.o.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld, CSc.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

---

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ)  
.Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



## ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 Strojírenství  
Student: Ondřej Maurer  
Téma práce: Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly  
pro rozvodnou síť napětí 22 kV

Production and verification of top console  
for power grid of 22kV

Číslo BP: KSP-SM-B43  
Vedoucí BP: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..  
Konzultant:

### Abstrakt:

Téma bakalářské práce je zaměřeno na konstrukční návrh, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol VN v energetickém průmyslu. V teoretické části se shrnou veškeré zákonné i konstrukční požadavky. Dále teorie výpočtu pevnosti a metodika ověřování funkčnosti konzoly ve společnosti Energetika servis s.r.o. Experimentální část je věnována návrhu nové konzoly PAŘÁT-III-JB-N, na které se zrealizuje pevnostní výpočet a ověření funkčnosti na reálném prototypu.

### Abstract:

This thesis is focused on the design, strength calculation and methodology for verifying the functionality of top console in the energy industry. The theoretical part will summarize all the legal and structural requirements. Furthermore, the theory and methodology of calculation, testing the functionality of the console at Energy Services Ltd. Experimental section is devoted to design a new console PAŘÁT-III-JB-N, which implements the strength calculation and verification of the real prototype.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. Května 2013

.....

Ondřej Maurer

Tř. 5. Května 57,

37382 Včelná

## Poděkování:

Děkuji doc. Ing. Heinzovi Neumannovi, CSc., Františkovi Kadlecovi, Ing. Hlachovi a Ing. Dvořákové za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

# Obsah

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod .....                                                | 11 |
| 2     | Cíl práce .....                                           | 12 |
| 3     | Teoretická část .....                                     | 13 |
| 3.1   | Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR ..... | 13 |
| 3.1.1 | Podpěrné body venkovního vedení VN .....                  | 13 |
| 3.1.2 | Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN.....            | 15 |
| 3.1.3 | Vodiče pro VN.....                                        | 17 |
| 3.1.4 | Izolátory pro VN.....                                     | 18 |
| 3.1.5 | Typy vrcholových konzol VN společnosti ES .....           | 20 |
| 3.1.6 | Konzola PAŘÁT-II-JB-N .....                               | 26 |
| 3.2   | Navrhování konzol.....                                    | 28 |
| 3.2.1 | Zákonné požadavky.....                                    | 28 |
| 3.2.2 | Elektrické požadavky .....                                | 30 |
| 3.2.3 | Konstrukční požadavky.....                                | 32 |
| 3.2.4 | Technologie výroby.....                                   | 39 |
| 3.3   | Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N .....            | 40 |
| 3.4   | Výpočet pevnosti konzoly VN .....                         | 42 |
| 3.4.1 | Normy a předpisy pro výpočet pevnosti.....                | 42 |
| 3.4.2 | Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce.....    | 42 |
| 3.4.3 | Návrhová únosnost svarových spojů.....                    | 43 |
| 3.4.4 | Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation .....         | 44 |
| 3.5   | Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES .....     | 46 |
| 3.5.1 | Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030 .....      | 46 |

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 4     | Experimentální část .....                              | 50 |
| 4.1   | Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                      | 50 |
| 4.2   | Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation.....         | 53 |
| 4.3   | Výpočet návrhové únosnosti .....                       | 60 |
| 4.3.1 | Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR .....      | 60 |
| 4.3.2 | Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru.....        | 61 |
| 4.4   | Ověření funkčnosti.....                                | 61 |
| 4.4.1 | Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti.....             | 61 |
| 4.4.2 | Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena .....      | 62 |
| 4.4.3 | Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena .....    | 64 |
| 5     | Vyhodnocení výsledků .....                             | 66 |
| 5.1   | Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy .....           | 66 |
| 5.2   | Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti..... | 67 |
| 5.3   | Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                | 68 |
| 6     | Závěr .....                                            | 69 |



# Seznam použitých zkratek a symbolů

|            |                    |                                                                                                                                   |
|------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ES         | /                  | výrobní společnost Energetika servis s.r.o.                                                                                       |
| PB         | /                  | podpěrný bod                                                                                                                      |
| JB         | /                  | jednoduchý betonový sloup                                                                                                         |
| DB         | /                  | dvojitý betonový sloup                                                                                                            |
| PS         | /                  | příhradový stožár                                                                                                                 |
| N          | /                  | nosná konzola/podpěrný bod                                                                                                        |
| AlFe       | /                  | holé kombinované lano z duše (Fe) a obalu (Al)                                                                                    |
| VN         | /                  | vysoké napětí                                                                                                                     |
| MKP        | /                  | metoda konečných prvků                                                                                                            |
| $U_n$      | [kV]               | jmenovité napětí sítě                                                                                                             |
| $U_s$      | [kV]               | nejvyšší napětí sítě                                                                                                              |
| $b_{emp}$  | [m]                | min. vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí                                                                        |
| $f$        | [m]                | větší z průhybů vodičů                                                                                                            |
| $L_{ins}$  | [m]                | svislá délka nosného izolátorového závěsu                                                                                         |
| $D_{pp}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič                                                                                   |
| $D_{el}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objekty na potenciálu země                                                                    |
| $c_{emp}$  | [-]                | konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností                                                                                     |
| $k_{emp}$  | [-]                | součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce.                                           |
| $d$        | [m]                | průměr neomrzlého vodiče                                                                                                          |
| $g_c$      | $[N \cdot m^{-1}]$ | tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky                                                                             |
| $\delta$   | [°]                | úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí |
| $\sigma_H$ | [MPa]              | vodorovné namáhání ve vodiči                                                                                                      |
| $E$        | [MPa]              | modul pružnosti vodiče                                                                                                            |
| $\nu$      | [°C]               | teplota okolí                                                                                                                     |
| $\alpha$   | [-]                | součinitel tepelné roztažnosti vodiče                                                                                             |

|                     |                                        |                                                                          |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $a$                 | [m]                                    | délka rozpětí (vzdálenost mezi podpěrnými body)                          |
| $\gamma$            | [N.mm <sup>-2</sup> .m <sup>-1</sup> ] | měrná tíha vodiče                                                        |
| $z$                 | [-]                                    | přetížení vodiče námrazou                                                |
| $F_1$               | [kN]                                   | síla způsobená tahem vodiče, ve směru vedení                             |
| $F_2$               | [kN]                                   | síla působící kolmo na směr vedení                                       |
| $F_3$               | [kN]                                   | síla způsobená tíhou vodiče, ve směru zemské gravitace                   |
| $F_v$               | [kN]                                   | síla výsledná (vektorový součet sil $F_1$ , $F_2$ a $F_3$ )              |
| $I_R$               | [N/m]                                  | referenční zatížení námrazou na jednotku délky                           |
| $q_h$               | [Pa]                                   | dynamický tlak větru ve výšce $h$ nad zemí                               |
| $G_q$               | [-]                                    | poryvový součinitel                                                      |
| $G_c$               | [-]                                    | součinitel rozpětí                                                       |
| $C_c$               | [-]                                    | součinitel aerodynamického odporu vodiče                                 |
| $\beta$             | [°]                                    | úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče                            |
| $R_d$               | [MPa]                                  | návrhová únosnost základního materiálu                                   |
| $R_k$               | [MPa]                                  | dolní mez kluzu základního materiálu                                     |
| $\gamma_M$          | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti materiálu                                 |
| $\gamma_{M2}$       | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti svaru                                     |
| $f_u$               | [MPa]                                  | jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu         |
| $\beta_W$           | [-]                                    | korelační součinitel podle tabulky                                       |
| $f_{vw,d}$          | [MPa]                                  | návrhová pevnost koutového svaru ve smyku                                |
| $\gamma_{exp}$      | [-]                                    | součinitel spolehlivosti zkoušení pro ocelové konstrukce                 |
| $\lambda_I$         | [-]                                    | součinitel přetvoření pro ocelové konstrukce                             |
| $G_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající stálému provoz. zatížení                  |
| $V_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající nahodilému provoz. zatížení               |
| $V_d$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající extrémnímu nahodilému provoznímu zatížení |
| $\sigma_{max}$      | [MPa]                                  | maximální naměřené napětí von Mises (metoda HM)                          |
| $\sigma_{dov\ max}$ | [MPa]                                  | maximální dovolené namáhání vodiče (stanovené výrobcem)                  |

# 1 Úvod

Iniciátorem této bakalářské práce je výrobce vrcholových konzol společnost Energetika servis s.r.o. (dále jen ES), která přijala od provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o. nový požadavek na změnu geometrických parametrů souboru konzol PAŘÁT-II na betonové sloupy. V této práci byl zadán úkol, navrhnout a ověřit funkčnost nové konzoly vybraného typu PAŘÁT-III-JB-N, která nahradí stávající konzolu PAŘÁT-II-JB-N. Téma je proto zaměřené na konstrukční řešení, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol vysokého napětí.

Z obecného hlediska je vrcholová konzola svařovaná ocelová konstrukce, která se montuje na hlavy stožáru za účelem podepření vodičů nadzemní linky vysokého napětí v patřičné mezifázové vzdálenosti. Z legislativního hlediska je vrcholová konzola klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, z důvodu trvalého zabudování do inženýrských staveb.

Tato práce se skládá ze dvou hlavních částí, teoretické a experimentální. V teoretické části se popisují typy konzol, jejich aplikace a funkce. Speciálně je rozebrána konzola PAŘÁT-II-JB-N, která se bude inovovat. Dále se provede rozbor zákonných a konstrukčních požadavků, posléze provozní zatížení a výpočet pevnosti. V kapitole výpočtů se popíše mj. i pevnostní analýza Simulation (na bázi MKP) softwaru Solid Edge, kterou výrobní společnost ES nedávno implementovala. ES ověřuje funkčnost a pevnost konzol zatěžovacími zkouškami únosnosti. Postup zatěžovacích zkoušek bude uveden v poslední kapitole teoretické části.

Experimentální část je zaměřena na samotný návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N, realizaci pevnostní analýzy Simulation a vypracování pevnostního výpočtu. V další fázi je reálně zhotovený prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N podroben zatěžovací zkoušce únosnosti, podle stávající metodiky ověřování funkčnosti společnosti ES.

Závěrem se vyhodnotí výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu, výsledky pevnostní analýzy a funkčnost nové konzoly. Pokud analýza Simulation prokáže objektivní výsledky, které se budou podobat reálnému chování konstrukce, může se stát do budoucna hlavním, moderním a efektivním nástrojem při dimenzování konzol ve společnosti ES.

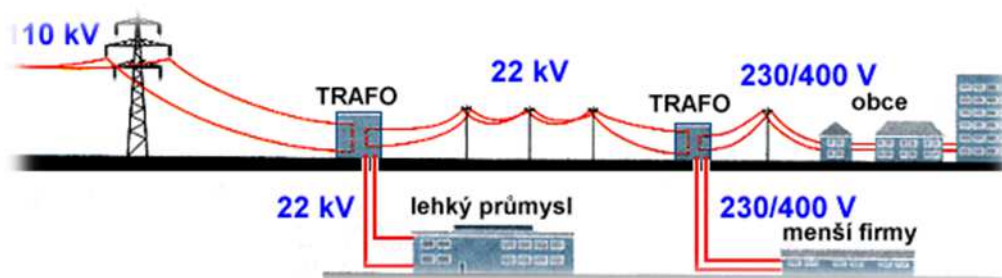
## 2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její funkčnost resp. únosnost. Únosnost konzoly se ověří jak pevnostní analýzou v softwaru Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR

V elektrárnách se vyrábí trojfázový střídavý proud o napětí velikosti několika tisíců voltů. Kvůli prvotní potřebě přenosu elektřiny na velké vzdálenosti, při nízkých ztrátách, se toto napětí ještě v elektrárně transformuje na velmi vysoké napětí (VVN) o velikosti 400kV, 220kV nebo 110kV. Rozvodné nadzemní sítě VVN se proto říká přenosová soustava. Přenosová soustava končí v transformačních stanicích, kde se VVN transformuje na vysoké napětí (VN) o velikosti 110kV. Část elektrické energie se přivádí linkami venkovního vedení přímo do velkých průmyslových podniků a do měnících elektrifikovaných železničních tratí. Zbývající část putuje do transformačních stanic, kde se napětí dále transformuje na vysoké napětí o velikosti 22kV, nebo 35kV. Sítě VN se proto nazývají distribuční soustavou. K poslední transformaci na nízké napětí o velikosti 230V a 400V dochází v trafostanicích samotných podniků, obcí a městských čtvrtí [11].



Obr. 1: Schéma rozvodu elektrické energie [11]

Elektrické venkovní vedení VN distribuční soustavy je tedy sítí linek, tvořených z různých typů podpěrných bodů, na jejichž vrcholcích jsou upnuty vrcholové konzoly s izolátory nesoucí vodiče. Aby bylo možné identifikovat funkce a provozní zatížení vrcholových konzol, je nutné se nejdříve seznámit s typologií podpěrných bodů.

#### 3.1.1 Podpěrné body venkovního vedení VN

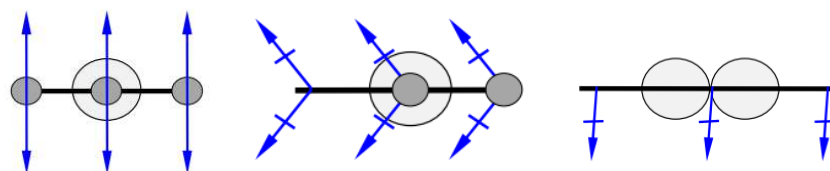
Podpěrný bod je obecně stožár, budova a vše co zajišťuje stálou podporu vodičů nad zemí. Každý podpěrný bod se skládá ze stožáru (nebo budovy), základu, podpěry (vrcholové konzoly), izolátorů a armatur. Podle účelu se podpěrné body dělí následovně [1]:

- Nosný podpěrný bod (N) - je vybavený podpěrnými izolátory nebo nosnými izolátorovými závěsy v přímé trase vedení
- Rohový podpěrný bod (R) - je vybavený podpěrnými izolátory, nosnými, nebo kotevními izolátorovými závěsy použitý v lomovém bodu trasy vedení, nebo vybavený kotevními závěsy v přímé trase vedení, pokud současně neslouží jako výztužný podpěrný bod
- Výztužný podpěrný bod (V) - je v přímé trase nebo lomu trasy vedení, sloužící současně jako pevný bod pro omezení lavinového šíření poruchy
- Koncový podpěrný bod (Ko) - je vybavený kotevními závěsy a je zatížen celkovým jednostranným tahem vodičů
- Odbočný podpěrný bod (O) - je bod, ze kterého vedou jednotlivá vedení alespoň třemi různými směry
- Křižovatkový podpěrný bod (K) - ohraničuje ve vedení jednotlivá rozpětí nebo kotevní úsek, kterým přechází přes koridor železničních drah
- Podpěrné body kombinované - slouží současně více účelům a značí se například KV, KR, RV, OV

Podle účelu podpěrného bodu se významně liší jeho provozní zatížení. Proto existuje celá řada stožárů, ke kterým se přiřazují konzoly patřičného tvaru a pevnosti.



Obr. 2: Linka venkovního vedení VN 22kV – systém konzol PAŘÁT-II na betonových sloupech (u obce Dolní Věžnice, okres Havlíkův Brod)



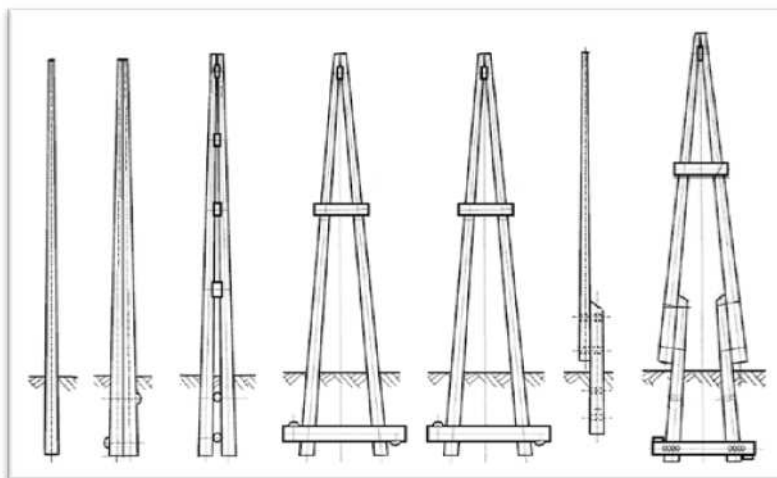
Obr. 3: Půdorysné schéma základních typů podpěrných bodů. Nosný PB (vlevo), rohový PB (uprostřed), koncový PB (vpravo)

### 3.1.2 Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN

Stožár podpěrného bodu je obecně prvek štíhlého tvaru, jehož spodní část (pata) je vetknutá do země a vrchní volná část (hlava) je určena pro upnutí konzol. Pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR se používají převážně tyto druhy stožárů:

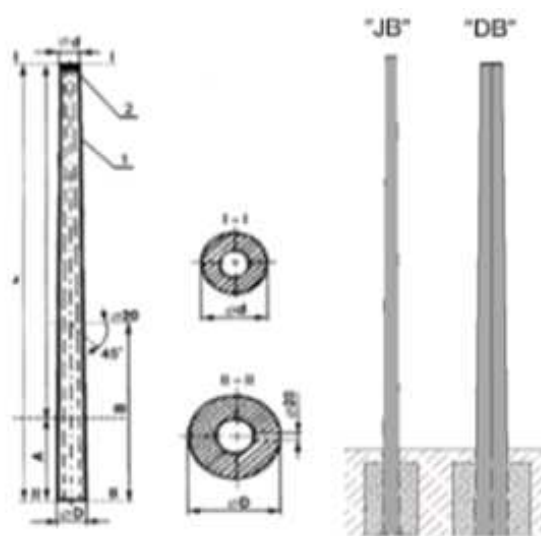
- Dřevěné sloupy
- Betonové sloupy
- Příhradové stožáry

Dřevěné sloupy se aplikují především v lesních průsecích, chráněných krajinách oblastí a v členitém terénu, kam se nedostane těžká technika. Jejich cena je v porovnání s ostatními druhy stožárů výrazně nižší, přitom životnost může dosáhnout až příznivých padesáti let. Životnost sloupů zapaštěných přímo do země je nepříznivě ovlivněna hnilobou, kterou lze zamezit vhodnou impregnací, nebo umístěním sloupů na železobetonové patky. Dřevěné sloupy se vyrábí v ČR z rostlých jehličnatých stromů (smrk, borovice a jedle) o průměru hlavy od 16 do 210 [cm], délka dosahuje 8 až 15 m. Aktuálně se rozlišuje několik sloupových provedení, které unesou namáhání v hodnotách od 5 do 15 kN viz obr. 4.



Obr. 4: Typy dřevěných stožárů: a) J, b) D, c) U, d) Š, e) A, f) J<sub>p</sub>, g) Š<sub>p</sub> nebo A<sub>p</sub> (p – na železobetonových patkách)

Betonové sloupy jsou nejrozšířenějšími stožáry podpěrných bodů pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR. Cena je vyšší než u dřevěných sloupů, zato větší dovolené vrcholové zatížení od 1,5 do 25 kN umožňuje projektantům prodloužit pole mezi podpěrnými body za určitých podmínek až na 180 m. Sloupy jsou v celé délce konické a obsahují střední průchozí otvor (obr. 5). Vyrábí se opět v různých odstupňovaných délkách od 9 do 15 m a průměrech hlavy 180 – 225 mm. Výroba probíhá odstředivou technologií ve speciálních nedělených formách s předem uloženou předepjatou ocelovou výztuží, která se zalévá betonovou směsí. Pro urychlení výrobního procesu se forma vyhřívá. Betonové sloupy se staví v jednoduchém (JB), nebo dvojitém (DB) provedení, s nutností provedení betonového základu. Na stavbě se dovybavují plastovými čepicemi, aby se zamezilo vnikání dešťové vody do středových otvorů.



Obr. 5: Typy betonových sloupů

Příhradové stožáry venkovního vedení VN (dále jen PS) se využijí při vzniku velkého vrcholového zatížení, nebo při potřebě dostat vodiče vysoko nad terén. Vzhledem k vysoké ceně se aplikují pouze je-li to nezbytné. Výška PS dosahuje až 24 m a dovolené zatížení ve vrcholu od 20 do 80 kN. Příhradové stožáry novější výroby se skládají ze dvou nebo tří dílů, které se montují šroubovými spoji. Spodní díly jsou konické, kdežto vrchní díl má konstantní šířku čtvercového průřezu pro snazší upevnění vrcholových konzol. Jendotlivé díly jsou svařené ze čtyř rohových stojin ve tvaru profilu L, které se vyztužují po obvodu diagonálami. PS je rovněž vetknut do betonového základu.



### 3.1.3 Vodiče pro VN

Pro výstavbu venkovního vedení se používají v ČR nejčastěji tyto druhy vodičů:

- Holé kombinované lano (AlFe)
- Jednoduchý izolovaný vodič (JIV)
- Kabel VN (závěsný / samonosný)

Holé kombinované lano je používáno ve venkovních vedeních vysokého napětí pro přenos elektrické energie, kde je třeba při dobré vodivosti i velké pevnosti. Je použitelné ve všech námrazových oblastech a pásmech znečištění. Odolává běžným povětrnostním podmínkám, ale dlouhodobé působení ovzduší znečištěného chemickými látkami vodič poškozuje. Značení udává základní informace o výrobku a souvisí s podrobným popisem uvedeným v katalogu výrobků. Konstrukce lana je soustředná. Duše ze slaněných ocelových drátů je šroubovitě ovinuta vrstvami z hliníkových drátů. Kombinovaná hliníková lana s ocelovou duší (AlFe lana) se vyrábějí podle požadovaného průřezu s jednou až čtyřmi vrstvami hliníkových drátů. Hliníkové dráty se vyrábějí z elektro-vodivého hliníku (Al 99,5 %) v průměrech od 1,6 do 4,0 mm. Ocelové dráty jsou chráněny proti korozi žárovým zinkováním [12].

Při výrobě jsou jednotlivé vrstvy stáčeny v opačném směru, aby se zabránilo samovolnému rozplétání. E.ON ČR s.r.o. používá nejčastěji pro venkovní vedení distribuční soustavy 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe, nebo 110/22 AlFe. Typové označení **42/7 AlFe** znamená [12]:

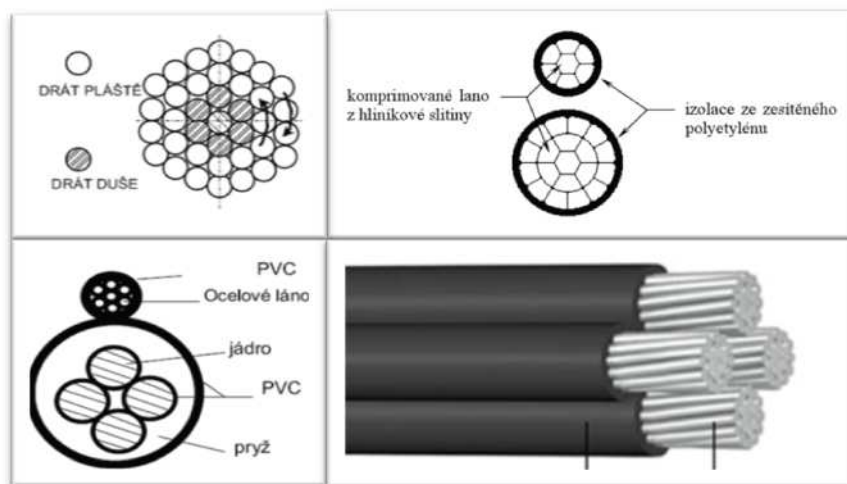
**42** jmenovitý průřez hliníkového pláště [mm<sup>2</sup>]

**7** jmenovitý průřez ocelové duše [mm<sup>2</sup>]

**AlFe** kombinace materiálů (hliník a železo)

Jednoduché izolované vodiče jsou určeny především do lesních průseků, ale lze jimi rovněž řešit těžko průchodná území zástavby s malými vzdálenostmi od budov a konstrukcí. JIV je tvořen prostým komprimovaným lanem s jednou vrstvou izolace. Lano je vyrobeno z materiálu známého pod obchodním názvem Aldrey, což je slitina hliníku (Al), magnézia (Mg) a křemíku (Si). Po stočení je lano průběžně lisováno (komprimováno), aby se zmenšil volný prostor mezi slaněnými dráty. Vrstva izolace v tloušťce 2,3 mm je ze zesíťovaného polyetylénu (XLPE). Vodiče opatřené touto izolací se považují za vodiče se základní izolací a musí se proto upevňovat na izolátory.

Venkovní vedení s JIV lze budovat ve vodorovném (vedle sebe) nebo svislém (pod sebou) uspořádání fázových vodičů jednoho systému vedení. Z praktických důvodů bez ohledu na průhyb a délku rozpětí je stanovena mezifázová vzdálenost na 0,5 m. Při styku fázových vodičů nedojde k přeskoku nebo zkratu. Nejznámějším výrobcem těchto vodičů je společnost NOKIA (Finsko) [12].



Obr. 7: Druhy vodičů - AIFe (nahore vlevo), JIV (nahore vpravo), závěsný kabel AYKYz (dole vlevo), samonosný kabel AES (dole vpravo) [12].

Samonosné kabely typu AES jsou složeny ze stočených žil, které obsahují hliníkové jádro a vrstvu izolace z PE, odolnou proti UV záření. Kabel AYKYz je tvořen z izolovaných hliníkových žil, stočených do duše kabelu a lana z ocelových pozinkovaných drátů. Duše je uložena v obalu vyplněném gumou. Ocelové lano a duši chrání ještě plášť z PVC [12].

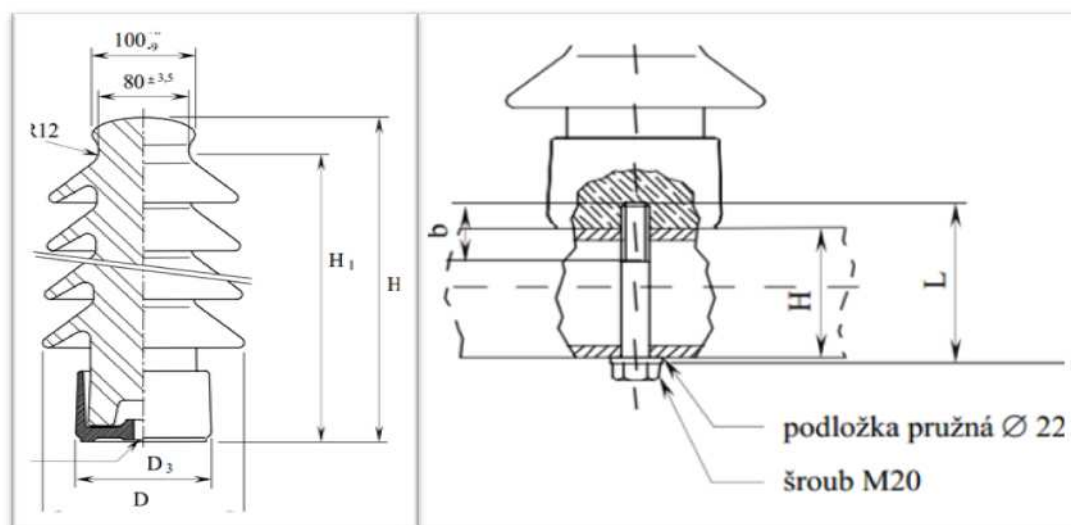
### 3.1.4 Izolátory pro VN

Izolátory jsou nezbytným příslušenstvím pro izolované připevnění živých vodičů ke konzolám vysokého napětí. V ČR se nejčastěji používají tyto typy izolátorů:

- Podpěrné izolátory
- Závěsné (kotevní, tahové) izolátory

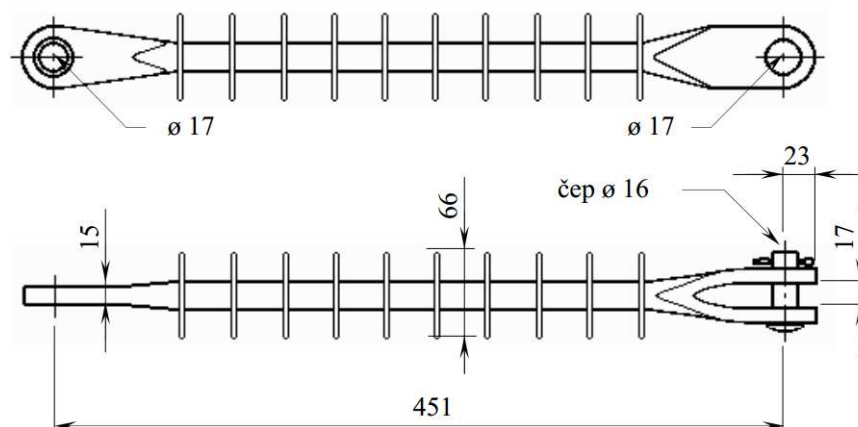
Podpěrný izolátor (obr. 8) se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné konzoly v rovných úsecích vedení, na rohové konzoly pokud není překročeno jeho dovolené namáhání a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu [12].

Charakteristické pro tento typ je, že má nejkratší průraznou dráhu v tuhém izolačním materiálu rovnou nejméně polovině délky nejkratší přeskokové vzdálenosti vzduchem vně izolačního tělesa. Na výrobu izolátorů se nejčastěji používá keramika a různých kompozitů. Podpěrný izolátor se skládá z izolačního podpěrného dřívku a z patní armatury. Tvar hlavy dřívku určuje způsob upevnění vodiče k izolátoru, výběr armatury a způsob upevnění podpěrného izolátoru ke konstrukci podpěrného bodu. Podle tvaru hlavy dřívku se dělí na VPA a VPAv [12].

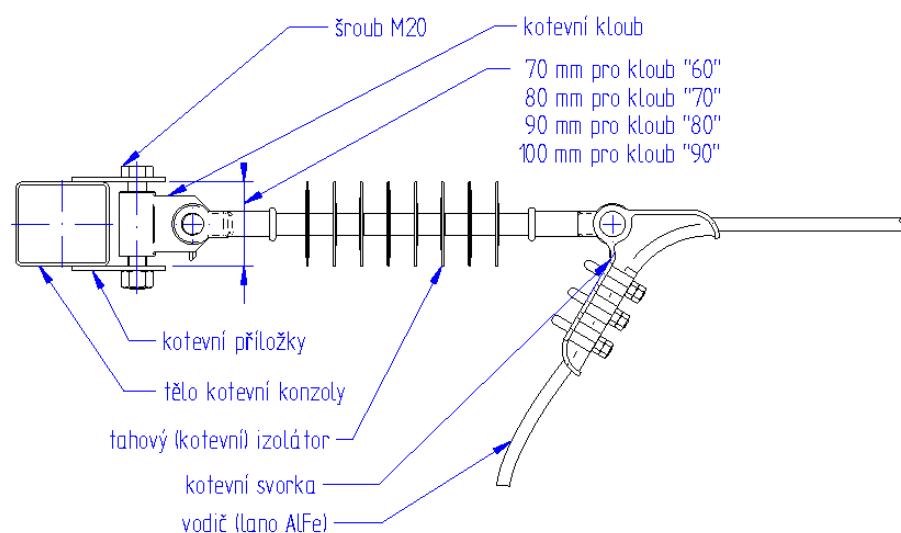


Obr. 8: Podpěrný keramický izolátor typu VPA (výrobce - Elektroporcelán a.s., Louny) [12].

Závěsný izolátor se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné body v rovných úsecích vedení, na rohové body, na kotevní body a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu. Izolátor je typu A - neprůrazný, je vyroben podle technických podmínek výrobce Reliable Ohio, USA. Jádrem dřívku je ze skelného vlákna navinuté mnoha závitů do smyčky tvaru „∞“ která je upravena pro spoj oko a vidlice přímé s čepem. Do otvorů ve smyčce jsou vsazena galvanicky pokovená pouzdra pro čepy. Ve formě je na smyčku nalisován plášť včetně stříšek ze silikonové pryže. Jejich tvar umožňuje nerozlišovat způsob zavěšení. Povrch izolátoru je šedý, hladký, matně lesklý a souvislý. Závěsný izolátor se zapřáhne ke konstrukci pomocí různých kotevních svorek a kloubů, se kterými tvoří tzv. „kotevního řetězce“ viz obrázky č. 9 a 10 [12].



Obr. 9: Tahový (kotevní) izolátor [12].



Obr. 10: Sestava kotevního řetězce na kotevní konzoly

### 3.1.5 Typy vrcholových konzol VN společnosti ES

Vzhledem k velké rozmanitosti účelů podpěrných bodů, stožárů a vodičů, existuje i odpovídající množství typologicky odlišných vrcholových konzol (dále jen konzol). Výrobní společnost Energetika servis s.r.o. (dále jen ES) se soustředí na výrobu konzol vysokého napětí pro betonové a dřevěné sloupy. Jinak je to u příhradových stožárů, kde si v současné době jejich výrobci dodávají konzoly vlastní.

Rozdělení konzol podle typu stožáru podpěrného bodu:

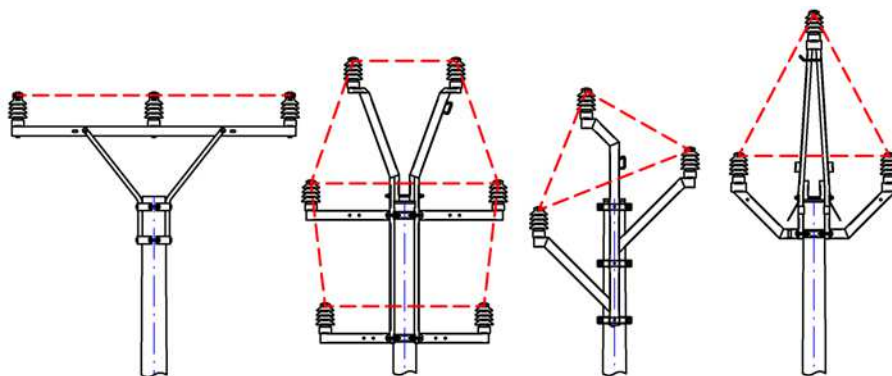
- na dřevěné sloupy (zkratka označení: DS – J/ D/ Š/ A)
- na betonový sloup (zkratka označení: JB/ DB)

Rozdělení konzol podle účelu podpěrného bodu:

- Nosná (N) – pro účely nosného podpěrného bodu
- Rohová (R) – pro účely rohového a výztužného podpěrného bodu
- Koncová (K) – pro účely koncového podpěrného bodu

Rozdělení konzol podle druhu vodičů a jejich geometrického uspořádání:

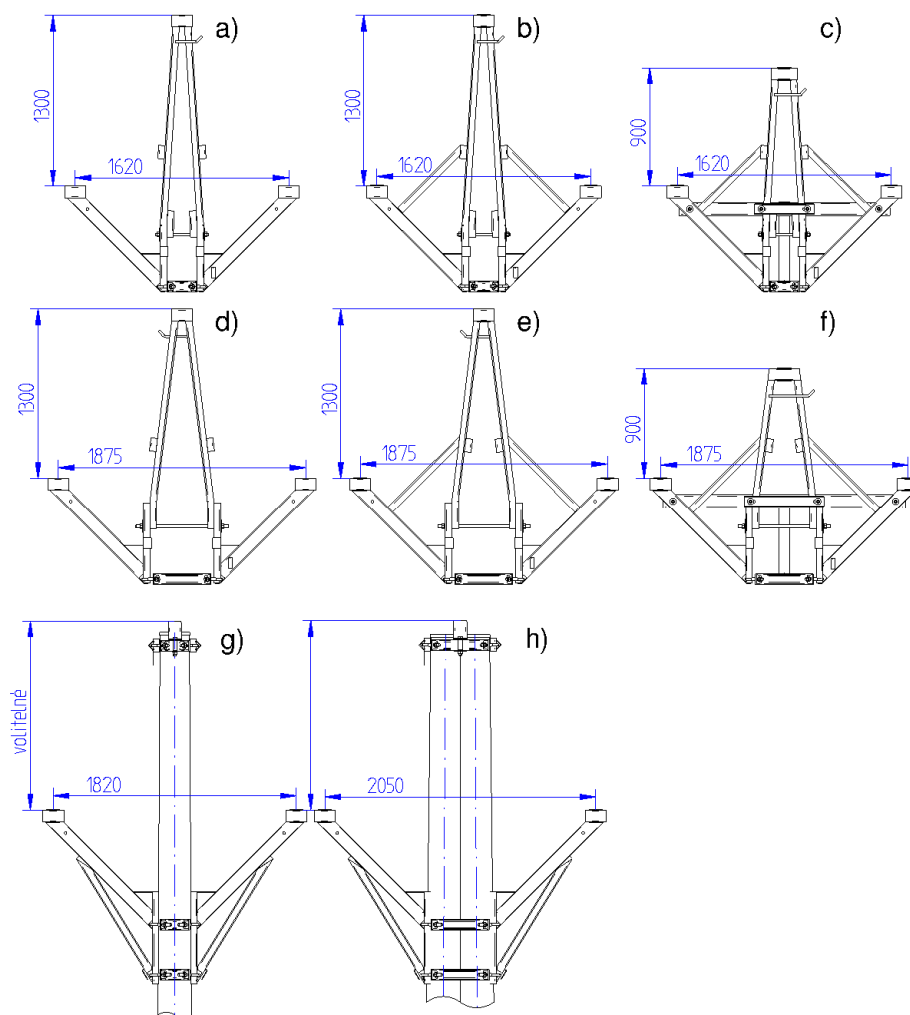
- Pro holá kombinovaná lana (AlFe), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Pařát (trojúhelníkové)
  - Šestivodič
- Pro jednoduché izolované vodiče (IZVE), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Rovinné
  - Vertikální
  - Šestivodič



Obr. 11: Typy konzol podle rozměrového uspořádání holých vodičů (AlFe): Zleva: rovinná konzola, šestivodič, stromeček a pařát (na obrázcích jsou nosné konzoly na JB)

Snahou výrobní společnost ES je navrhovat konzoly tak, aby se daly použít v jednom zvoleném uspořádání vodičů na všechny typy betonových a dřevěných stožárů, pro základní účely podpěrných bodů. Takto nastavenou koncepcí vznikají tzv. komplexní „systémy konzol“. Příklad nejpoužívanějšího systému v ČR na betonové sloupy (pro vodiče AlFe) je na obrázku č. 12.

Konzoly PAŘÁT-II lze montovat pro účely nosného, rohového i koncového podpěrného bodu a to jak na betonové sloupy v provedení JB i DB o průměru hlavy 180 – 250 [mm]. Výhody těchto konzol spočívají v jednoduché montáži pomocí svorníku a stavitelných třmenových objímek. Konzoly jsou symetrické, montují se přesně do os sloupů, tím je přenášeno zatížení do vrcholu sloupu příznivěji.



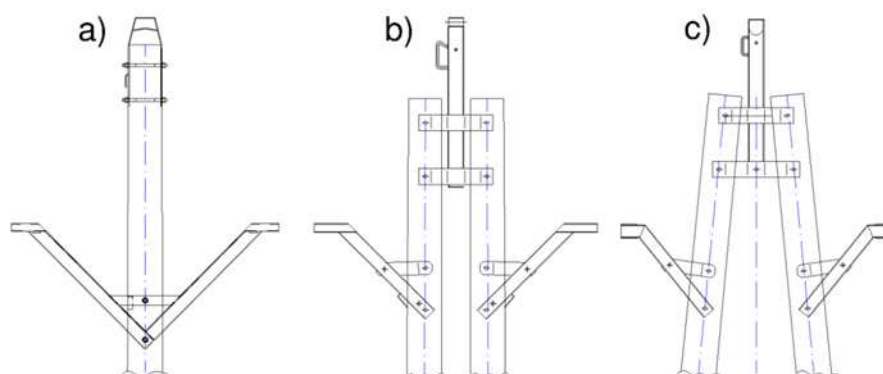
Obr. 12: Systém konzol PARÁT-II na betonové sloupy: a) JB-N, b) JB-R, c) JB-K, d) DB-N, e) DB-R, f) DB-K, g) JB-40kN h) DB-40kN

Venkovní vedení si daleko lépe počíná v trojúhelníkovém uspořádání vodičů s pády stromů na vedení. Tíha nahnutého stromu se většinou rozloží mezi dva vodiče (krajní a horní) a vodiče se většinou nepřetrhnou. Trojúhelníkové uspořádání vodičů je oproti rovinnému výhodné i proto, že je štíhlejší a při respektování dovolených vzdáleností od objektů se snáze vejde do nahuštěné zástavby. Dále se snáze provádí údržba izolátorů, protože na ně montér dosáhne přímo z konzoly. Konzoly jsou konstruovány vhodnými profily opatřené různými otvory a navařenými kapsami pro montáž doplňujících prvků, jako jsou: montážní stupačky, montážní kladky, kotvy pro uchycení montéra při práci ve výškách, boční nosníky pro podepření svodových vodičů, praporce pro aplikaci bezpečnostního závěsu apod. Konzoly PARÁT vykazaly i mírné snížení úrazů a úhynů volně žijícího ptactva zásahem elektrického proudu.



Obr. 13: Konzola PAŘÁT-II-DB-N (vlevo), konzola PAŘÁT-II-DB-R (vpravo) [7]

Konzoly typu PAŘÁT jsou ve stejném typovém rozsahu zkonstruovány i pro dřevěné stožáry (systém konzol PAŘÁT-DS) viz ukázka na obrázku č. 14.



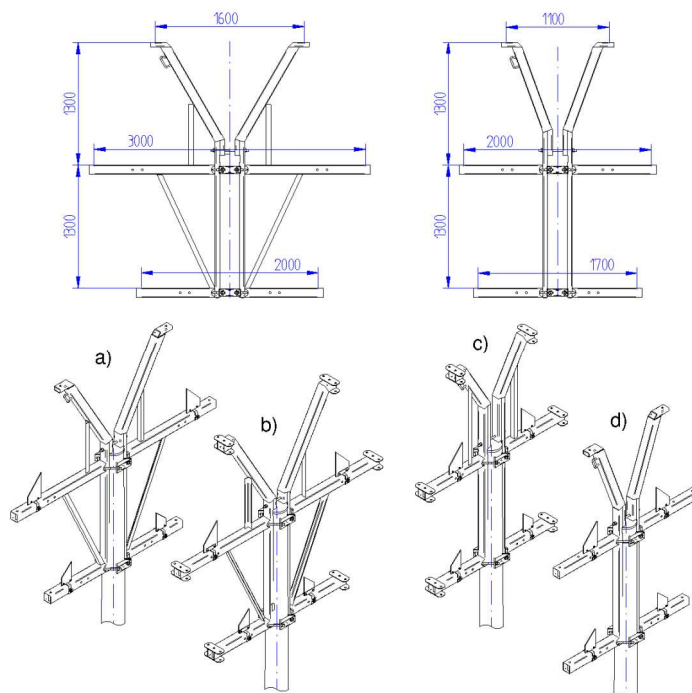
Obr. 14: Konzoly systému PAŘÁT na dřevěné sloupy: a) DS-N-J, b) DS-N-U, c) DS-K-A

Konzoly PAŘÁT se dimenzují na odolnost vůči provoznímu zatížení vztaženému k jednomu vodiči linky, na které poukazuje tabulka č. 1. Provozní zatížení je podrobněji vysvětleno v kapitole 3.3.

tab. 1: Dovolené provozní zatížení konzol jedním vodičem, stanovené výrobcem [7].

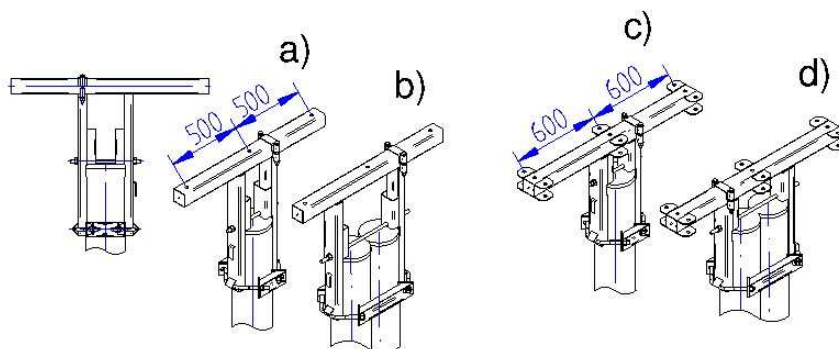
| Systém konzol | PAŘÁT-II (na betonové sloupy) |      |      |      |       |       | PAŘÁT-DS (na dřevěné sloupy) |        |        |        |        |        |
|---------------|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Typ konzoly   | JB-N                          | DB-N | DB-R | DB-K | JB-40 | DB-40 | DS-N-J                       | DS-N-Š | DS-N-U | DS-N-A | DS-K-Š | DS-K-A |
| F1 [kN]       | 3                             | 3    | 5    | 9,3  | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      |
| F2 [kN]       | 3                             | 3    | 9,3  | /    | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 9,3    | 9,3    |
| F3 [kN]       | 7                             | 7    | 7    | 7    | 13    | 13    | 7                            | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      |

Konzoly ze systému šestivodič (obr. 15) umožňují upnutí dvou linek VN na jednom stožáru. Tento systém je rovněž určený pro vodiče AlFe. Kvůli zvětšenému provoznímu zatížení se na dřevěné sloupy nekonstruuují. Používají se převážně při rozvodu linek VN u rozvoden. Dvojité vedení se ovšem mnohem častěji aplikuje na pevnější příhradové stožáry.



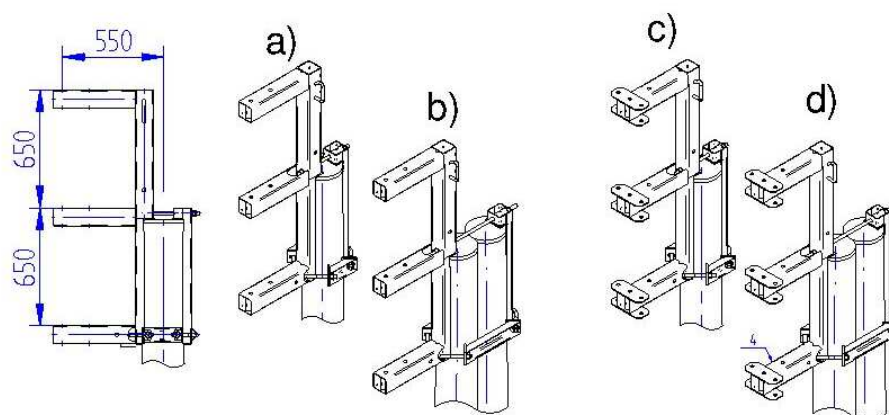
Obr. 15: Systém konzol šestivodič na betonové sloupy: a) 1600/3000/200-N-JB, b) 1600/3000/2000-R-JB, c) 1100/2000/1700-K-JB, d) 1100/2000/1700-N-JB

Konzoly pro jednoduché izolované vodiče (IZVE) dovolují menší mezifázové vzdálenosti. Vedení je kompaktní, používá se v lesních průsecích a zástavbě. Pro jednoduchá vedení se vyrábí v horizontálním (obr. 16) i vertikálním rozměrovém uspořádání (obr. 17 a 18), jak na betonové sloupy, tak i dřevěné. U dvojnásobného vedení je konzola konstruována pouze na betonové sloupy (obr. 19).

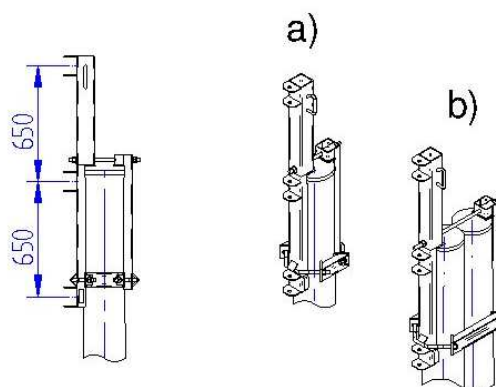


Obr. 16: Systém rovinných konzol 3xIZVE-II: a) 3xIZVE-II-JB-N, b) 3xIZVE-II-DB-N, c) 3xIZVE-II-JB-K, d) 3xIZVE-II-DB-K

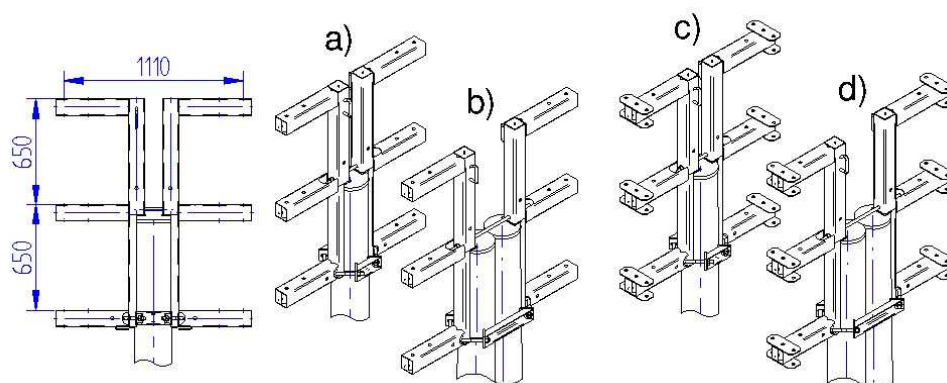




Obr. 17: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-N, b) 3xIZVE-svislá-DB-N, c) 3xIZVE-svislá-JB-K, d) 3xIZVE-svislá-DB-K



Obr. 18: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-R, b) 3xIZVE-svislá-DB-R



Obr. 19: Systém svislých konzol 6xIZVE: a) 6xIZVE-svislá-JB-N, b) 6xIZVE-svislá-DB-N, c) 6xIZVE-svislá-JB-K, d) 6xIZVE-svislá-DB-K

Z předchozích obrázků je patrné, že typologie vrcholových konzol je velmi rozsáhlá, proto se tato práce bude dále detailněji zabývat pouze jedním konkrétním typem PAŘÁT-II-JB-N, na kterou jsou kladeny nové požadavky od distributora.

### 3.1.6 Konzola PAŘÁT-II-JB-N

Konzola PAŘÁT-II-JB-N je konstruována pro nosný účel tak, aby šla upnout na hlavu jednoduchého betonového sloupu o průměru od 180 do 250 [mm]. Skládá ze středního nosného ramene, ke kterému jsou přivařena boční ramena. Na každé rameno lze pomocí spojovacího materiálu namontovat podpěrný izolátor. Na středním nosném rameni jsou přivařeny držáky pro montážní stupačku a v horní části bezpečnostní kotva pro osobní zajištění pracovníka při práci ve výšce. Kotva přesahuje profil a je zahnuta do tvaru háku, pro případné odložení horního vodiče při výměně izolátoru. V dolní části středového ramene je přivařen zemnicí pásek. Součástí konzoly JB a DB je stavitelná třmenová objímka, která se skládá ze dvou kotevních segmentů a dvou svorníků tvaru otevřeného U.

Konzola a tělo objímky se svařuje z normalizovaných, za tepla válcovaných tvarově jednoduchých profilů. Veškeré použité profily (viz výrobní výkres v příloze 1) jsou z oceli S235JR (11 373), značené podle ČSN EN 10025. Samotná svařená konzola musí být dostatečně dimenzována, tak aby unesla stanovené provozní zatížení. Dostatečnou pevnost musí prokázat jak zvolený základní materiál jednotlivých dílců, tak i svarové spoje mezi dílci. Samotná pevnost ovšem nezaručí plnou funkčnost konzoly, ta totiž spočívá i v tuhosti upnutí na hlavě betonového sloupu.



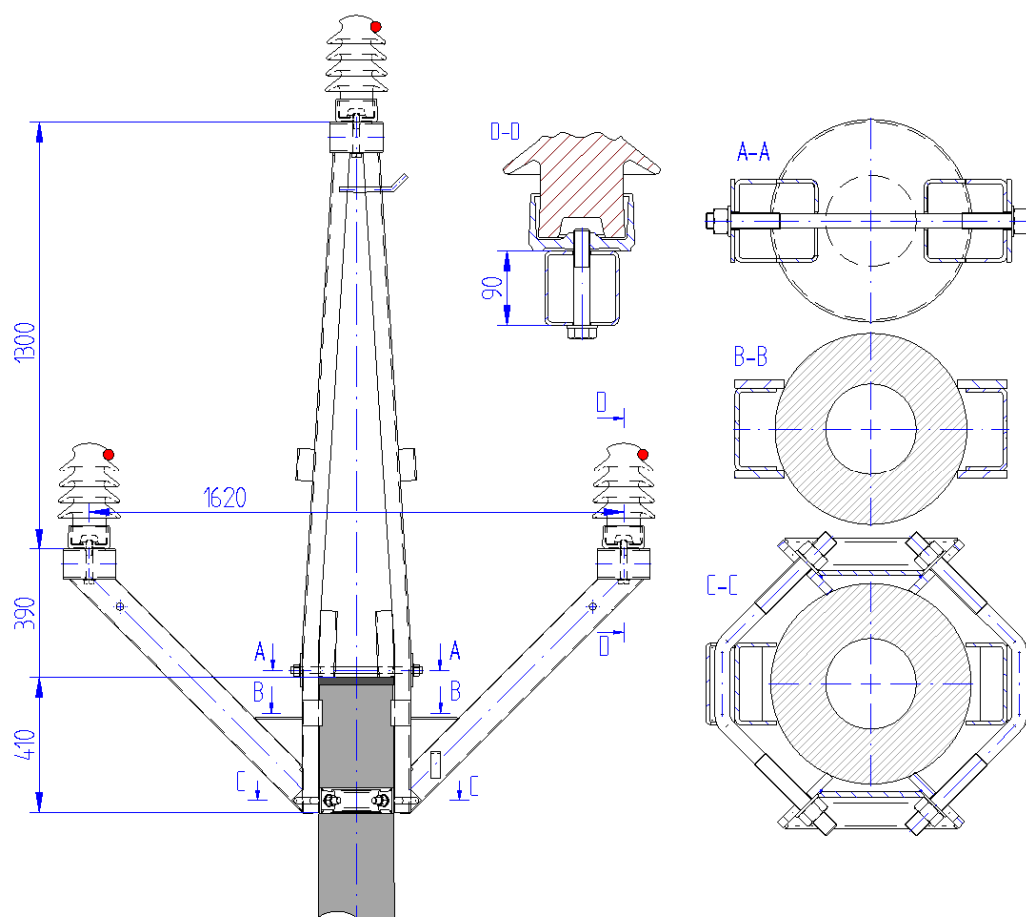
Obr. 20: Popis konzoly PAŘÁT-II-JB-N: 1) bezpečnostní kotva, 2) střední rameno, 3) držák zásuvné montážní stupačky, 4) podpěra, 5) Podpěrný izolátor, 6) boční rameno, 7) čepice, 8) stavitelná třmenová objímka, 9) betonový sloup, 10) svorník M20, 11) výztuha bočního ramena, 12) opěrná deska [7].

Problematika tuhého upnutí je velice komplikovaná a ve společnosti ES se ověřuje v rámci zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu. Konzola PAŘÁT-II-JB-N se dotýká hlavy betonového sloupu celkem ve 14 pomyslných kontaktech. Správnou polohu ve vertikálním směru zajišťují podpěry navařené z vnitřní části středového ramena (pozice 4 na obr. 20 a řez A-A na obr. 21). Podpěry slouží jako doraz, o který se konzola usadí při nasazování na hlavu sloupu. V tomto okamžiku může konzola již jen rotovat kolem osy sloupu.

Konzola musí udržovat stálou polohu vůči sloupu, po celou dobu životnosti. Tuhost upnutí vůči prokluzu se splní dotažením dvou matic svorníku M20, který prochází skrz podpěry a středové rameno těsně nad hlavou betonového sloupu (řez A-A na obrázku č. 21) a dotažením čtyř matic M20 tvarovaných svorníků (řez C-C na obrázku č. 21). Po dotažení všech matic, se čtyři opěrné silně zaříznou do betonového sloupu (cca 1-3mm). Tvarované svorníky třmenové objímky stahují profily středového ramena do osy sloupu a segmenty objímky se opět zaříznou do betonového sloupu čtyřmi ostrými hranami. Tento osvědčený způsob upnutí je použit na všech konzolách systému PAŘÁT-II, kterých se vyrobilo od roku 2005 přes 30 000 kusů. Zaručená tuhost upnutí vůči usmýknutí je důležitá v okamžiku, kdy se přetrhne jeden krajní vodič v lince a způsobí mírnou nerovnováhu působících sil. Nerovnováha sil může vzniknout i při samotné výstavbě venkovního vedení, kdy se natahují vodiče linky.

Utahovací moment matic není stanoven, protože se ostré hrany konzoly zařezávají v praxi do betonových sloupů pokaždé jinak hluboko a je obtížné ho analyticky vyjádřit.

Konzola obsahuje různé otvory a profily přizpůsobené velikosti, pro použití montážních přípravků. Montážní přípravky zjednodušují výstavbu a provoz venkovního vedení. Boční ramena obsahují otvory o průměru 22 [mm], do kterých se vkládají na stavbách montážní kladky pro natahování vodičů. Konzola je dále opatřena kapsami, navařenými na profilech středového ramena, do kterých se zasunují montážní stupačky. Konstrukce nesmí obsahovat uzavřené dutiny a kapsy. Pokud to konstrukce neumožní sama svým tvarem, musí se do dílců vystříhnout tzv. technologické otvory, tak aby po žárovém zinkování mohl tekutý zinek samovolně vytéct z konstrukce zpět do nádrže.



Obr. 21: Upnutí konzoly PARÁT-II-JB-N na betonovém sloupu JB

Podle nového požadavku, přijatého od distributorů a provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o., je geometrie konzoly PARÁT-II-JB-N nevyhovující. Požadavkem pro návrh nové konzoly PARÁT-III-JB-N je prodloužit vertikální vzdálenost mezi horním a krajním vodičem z 1200 na 1500 [mm]. Dále se musí zachovat vzdálenost horního vodiče od hlavy sloupu 2100 [mm] a horizontální mezifázovou vzdálenost 1620 [mm].

## 3.2 Navrhování konzol

### 3.2.1 Zákonné požadavky

Konzola je právně klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, protože se natrvalo zabuduje do inženýrských staveb určených pro energetiku. To znamená, že musí výrobce respektovat příslušné zákony o stavebních výrobcích, technické normy a prokázat způsobilost k výrobě od akreditované organizace

Před uvedením výrobku na trh musí dále výrobce zajistit shodu vlastností výrobku s technickými předpisy, vydanými podle § 13 odstavec zákona 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů v platném znění a dle § 5 nařízení vlády č. 190/2002 Sb. v platném znění, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky označované CE, v souladu se směrnicí 89/106 EHS Rady Evropských společenství o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích – CPD), ve znění směrnice 93/68 EHS Rady Evropských společenství.

Konzola se vyrábí technologií svařování, tedy tzv. zvláštním procesem, u kterého se jakost nedá zajistit pouhými kontrolami. Proto je nutné chápat svařování jako komplexní proces, který prolíná celým spektrem činnosti výrobní organizace. Aby mohl výrobce zajistit požadovanou kvalitu výrobku, musí implementovat systém managementu kvality podle ČSN EN ISO 9001:2008, ve kterých je proces svařování dále specifikován normou ČSN EN ISO 3834-1 až 6. Kvalita výroby je řízena normou ČSN EN 1090-2 provádění ocelových konstrukcí. Výrobu ocelových konstrukcí mohou tudíž provádět pouze firmy s příslušným oprávněním podle normy ČSN EN 1090-1, ve které se odkazuje při navrhování stavebních konstrukcí na Eurokódy, začleněné do systému ČSN. Pro svařované ocelové konstrukce je to konkrétně EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.

Konzoly se pro zákazníky v ČR dále navrhují v souladu s podnikovou normou energetiky - PNE 33 3301 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV do 45kV včetně, která navazuje na evropskou normu EN 50 423:2005 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV AC do 45kV tak, aby společně s dalšími prvky venkovního vedení byla zaručena provozní bezpečnost.

Dalším kritériem pro navrhování konzol je Energetický zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny v platném znění, který stanovuje povinnost budovat nové venkovní vedení bezpečně vůči živočichům, speciálně vůči volně žijícím ptákům. Novela tohoto zákona 211/2011 Sb. povinnosti rozšiřuje a stanovuje povinnost zabezpečit před smrtelným úrazem ptactva nejen nové venkovní vedení, ale i všechna existující vedení – původní, nová i rekonstruovaná. Bezpečnost konzol vůči volně žijícím ptákům posuzuje Agentura ochrany přírody a krajiny v ČR (AOPK), která je v této věci pověřená Ministerstvem ochrany životního prostředí. Každá nová vrcholová konzola vysokého napětí musí obdržet kladné odborné stanovisko od AOPK.

### 3.2.2 Elektrické požadavky

Venkovní vedení se musí navrhovat a stavět tak, aby po dobu plánované životnosti [1]:

- sloužilo svému účelu ekonomicky, s přijatelnou úrovní spolehlivosti.
- odolávalo šíření poruchy
- nebylo příčinou zranění, ohrožení života nebo majetku při výstavbě, provozu a údržbě
- bylo bezpečné pro veřejnost
- bylo přijatelné z hlediska vzhledu a životního prostředí
- musí plnit požadavky bezpečné práce ve výškách pro údržbu a montáž doplňujícího zbrojení

#### 3.2.2.1 Spolehlivost venkovních vedení

Požadované spolehlivosti venkovních vedení se dosáhne, budou-li z hlediska zatížení navrženy v souladu s normou PNE 33 3301. Pro navrhování venkovních vedení do 45kV včetně, jsou v souladu s metodou obecného přístupu zavedeny čtyři úrovně spolehlivosti v závislosti na době návratu  $T$  klimatických zatížení, viz tabulka 2 [1].

Tab. 2: Úrovně spolehlivosti [1]

| Úroveň spolehlivosti | Doba návratu $T$ klimatických zatížení [roky] |
|----------------------|-----------------------------------------------|
| 0                    | 20                                            |
| 1                    | 50                                            |
| 2                    | 150                                           |
| 3                    | 500                                           |

Všechna venkovní vedení musí odpovídat alespoň úrovni 0, s výjimkou dočasných staveb, nebo provizorních přeložek. Úroveň spolehlivosti 1 je považována za referenční [1].

#### 3.2.2.2 Klasifikace napětí

Jmenovité napětí, nejvyšší napětí a požadovaná výdržná napětí pro dvě nejužívanější hladiny napětí ve venkovních sítích uvádí tabulka 3 [1].

Tab. 3: Jmenovitá, nejvyšší a výdržná napětí sítě [1]

| Jmenovité napětí $U_n$ [kV] | Nejvyšší napětí $U_s$ [kV] | Požadované výdržné napětí      |                            |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                             |                            | za deště $U_{rw\ 50\ Hz}$ [kV] | za sucha $U_{rw\ LI}$ [kV] |
| 22                          | 25,0                       | 50                             | 125                        |
| 35                          | 38,5                       | 75                             | 180                        |

### 3.2.2.3 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoků

„Ke stanovení nejkratších vzdáleností byla použita empirická metoda založená na zkušenosti s dlouhodobě provozně ověřenými vzdálenostmi. Hodnoty v tabulce 4 jsou vymezeny pouze pro holé vodiče do nadmořské výšky 1000m. Pro nadmořskou výšku nad 1000m se nejkratší vzdálenost zvětší o 1% na každých započatých 100m.

Tab. 4: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  a  $D_{pp}$  - pro vnitřní vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]                           | $D_{pp}$<br>[m]                                   | $D_{pp}$<br>[m]                            |
|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 25,0                               | 0,23                                      | 0,26                                              | 0,70                                       |
| 38,5                               | 0,38                                      | 0,45                                              | 0,70                                       |
| Poznámky                           | Mezi fázovými vodiči<br>a podpěrným bodem | Mezi fázovými vodiči<br>jednoho systému<br>vedení | K fázovým vodičům<br>jiných systémů vedení |

Tab. 5: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  - pro vnější vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Pro všechna napětí                 | 0,6                           |
| Poznámky                           | K zemi a ostatním<br>objektům |

kde je:

$D_{pp}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoků mezi fázovými vodiči při přepětích s rychlým nebo s pomalým čelem.  $D_{pp}$  je vnitřní vzdálenost.

$D_{el}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoků mezi vodiči a objekty na potenciálu země, při přepětích s rychlým nebo pomalým čelem.  $D_{el}$  může být buď vnitřní, když se uvažují nejkratší vzdálenosti mezi vodiči a konstrukcí podpěrných bodů nebo vnější, když se uvažuje nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objektem“ [1].

### 3.2.2.4 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoků

Mezi fázovými holými vodiči musí být jak při teplotě vodičů  $+40^\circ\text{C}$ , tak i při návrhovém zatížení námrazou dodržena alespoň vzdálenost  $b_{emp}$  [1].

$$b_{emp} = k_{emp} \cdot \sqrt{f + L_{ins}} + c_{emp} \cdot D_{pp} \quad (3.1)$$

kde je:

$b_{emp}$  – minimální vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí [m]

- f větší z průhybů vodičů [m]  
 $L_{ins}$  svislá délka nosného izolátorového závěsu [m]  
 $D_{pp}$  nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič [m]  
 $c_{emp}$  konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností se bere  $c_{emp}=0,6$  [ / ]  
 $k_{emp}$  součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce.

Pro izolační závěsy, které se nemohou vychylovat ve směru kolmém k ose vedení, podpěrné izolátory a pro pevné izolační konzoly se bere  $L_{ins}=0$ . Součinitel  $k_{emp}$  se určí dle vztahu (3.2) [1].

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d / g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right] [ / ] \quad (3.2)$$

kde je:

- d průměr neomrzlého vodiče [m]  
 $g_c$  tíha vodiče [N]  
 $\delta$  úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí. Udává se ve stupních a nabývá velikosti od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ .

Se vzorcem (3.1) se dále bude pracovat v kapitole výpočtu provozního zatížení, kde je nutné stanovit maximální dovolenou vzdálenost mezi podpěrnými body podle rozměrového uspořádání vodičů na konzole. Maximální dovolená vzdálenost mezi podpěrnými body limitována právě i dovoleným průhybem vodiče. Vzorec (3.1) se proto převede rovnou do tvaru, který vyjadřuje maximální průhyb vodiče mezi podpěrnými body z navrženého rozměrového uspořádání vodičů na konzole.

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 \quad (3.3)$$

### 3.2.3 Konstrukční požadavky

#### 3.2.3.1 Volba základního a přídatného materiálu

Má-li konstrukce splňovat požadavky na ni kladené, musí vyhovovat z hlediska spolehlivé pevnosti, tuhosti a stability. K tomu přistupují i hlediska ekonomická. Toto řeší pojem – technologičnost konstrukce [2].



Prvořadým kritériem pro volbu základního materiálu je potřebná únosnost při provozním namáhání – ať už statickém nebo cyklickém. Nutno je též zohlednit charakter provozních podmínek: teplota, cyklické namáhání, působení koroze apod. Důležitá je rovněž otázka svažitelnosti a případné nutnosti předehřevu. Zařazování materiálu do 11 skupin pro účely svařování uvádí směrnice: TNI CEN ISO/TR 15 608 (05 0323) [2].

Pro stavební ocelové konstrukce se používají různé konstrukční oceli. Pro nosné konstrukce se doporučuje značka S355, protože konstrukce vyráběna z této oceli bývá většinou levnější, než z oceli S235. Ocel S235 se nejčastěji používá pro nenosné a doplňkové konstrukce. Všechny moderní oceli jsou svažitelné. Požadavky na plechy a tvarované tyče vyrobené válcováním za tepla z konstrukčních ocelí stanovuje norma ČSN EN 10025 [2].

Společnost ES na základě dlouholetých zkušeností upřednostňuje aplikaci materiálu S235JR. Zároveň dbá na plné recyklaci konzol bez nutnosti jakýchkoliv úprav. To znamená, že jsou všechny dílce jednoho svařeného nerozebíratelného celku ze stejného materiálu.

Jmenovitá mez kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost a nejmenší hodnota vrubové houževnatosti přídatného svarového kovu, mají být stejné nebo lepší než je stanoveno pro základní materiál. Společnost ES svařuje konzoly technologií MAG, při kterých je použit přídatný materiál typu G3Si1 (podle EN 14341), v podobě drátu o průměru 0,8 a 1,0 [mm] viz příloha č. 21.

### 3.2.3.2 Volba tvaru a velikosti polotovarů

Tvar a velikost profilů samotných dílů se volí tak, aby velikost průřezu profilu zajistila dostatečnou pevnost vůči stanovenému provoznímu namáhání. Prioritně se vybírají normalizované řady tyčí a profilů válcované za tepla, které jsou ve společnosti ES zavedeny, viz tabulka č. 6. Volba profilu se provádí zároveň tak, aby bylo umožněno provést svary potřebného tvaru a velikosti.

Tab. 6: Nejpoužívanější profily používané ve společnosti ES

| Typ profilu<br>(ČSN<br>EN 10025) | TR 4HR<br>ČSN EN<br>10210-2 | Profil U<br>ČSN 42 6963 | Tyč PLO<br>ČSN 42 5340 | Plech<br>ČSN 42 5310 | Profil U<br>ČSN 42 5570 |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| Velikost<br>[mm]                 | 90x90x4                     | 80x40x4                 | 30x5 (8,10)            | P1,5                 | U80                     |
|                                  | 100x100x3                   | 100x50x4                | 40x5 (8,10)            | P2                   | U100                    |
|                                  | 100x100x5                   | 100x50x5                | 50x5 (8,10)            | P2,5                 |                         |
|                                  |                             |                         | 60x5 (8,10)            | P3                   |                         |
|                                  |                             |                         | 80x5 (8,10)            | P4                   |                         |
|                                  |                             |                         | 100x5 (8,10)           | P5                   |                         |

### 3.2.3.3 Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly

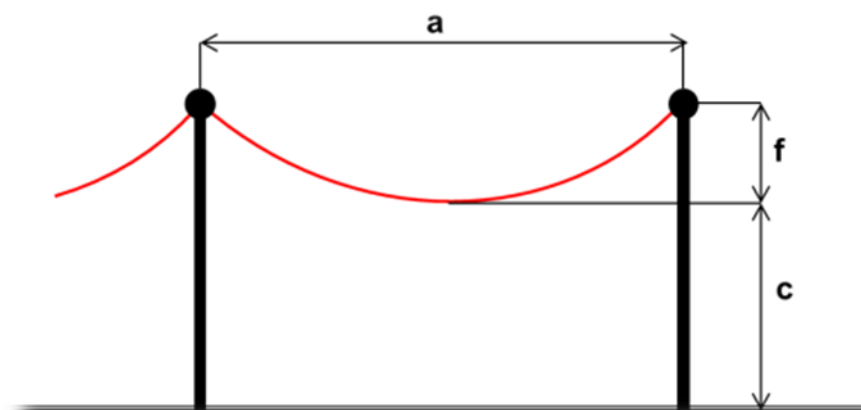
Na nové konzoly VN je od distributorů elektrické energie kladen zásadní požadavek zaměnitelnosti staré konzoly za novou, proto se při návrhu nového typu musí vždy uvažovat maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body z prvotně používaných konzol, které musí i nová konzola svým uspořádáním vodičů umožnit.

Na nové konzoly je současně kladen požadavek zachování trojúhelníkového uspořádání vodičů. Krajní vodiče na nové konzoly by neměly dosahovat vzdálenost od terénu výrazně nižší než prvotně vzniklé konzoly.

Historicky první řada vrcholových konzol v ČR vznikla současně se zahájením výroby betonových sloupů v 60. letech 20. Století. Soubor těchto konzol se značí rovinným (vodorovným) uspořádáním vodičů. Tehdy vznikly i první podklady pro projektování, vycházející z dnes již neplatné normy ČSN 34 1100 z roku 1972. Rozměrové uspořádání vodičů na rovinných konzolách umožňovalo vzdálenosti mezi podpěrnými body uvedené v tabulce 7.

Tab. 7 – Maximální vzdálenosti PB, podle geometrie prvotních rovinných konzol

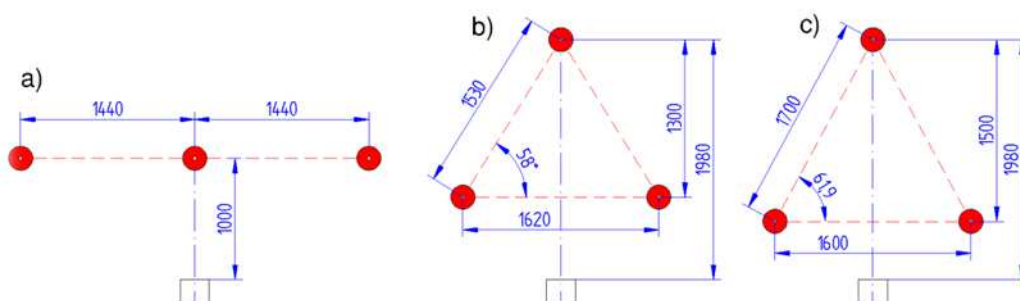
| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká |
| 42/7 AlFe    | 127                                                                   | 102       | 86      |
| 70/11-1 AlFe | 150                                                                   | 122       | 105     |
| 110/22 AlFe  | 180                                                                   | 152       | 133     |



Obr. 22: Schéma geometrie jednoho rozpětí mezi podpěrnými body:

a – vzdálenost mezi PB (rozpětí pole), f - průhyb vodiče, c – výška vedení nad zemí [11]

Rovinné konzoly VN na betonové sloupy musely optimálně pokrýt široké pásmo uvažovaných vzdáleností, proto vznikly tehdy tři pevnostní typy konzol, které se dále člení podle sloupového provedení na konzolu lehkou, výztužnou a těžkou.



Obr. 23: Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly:  
vlevo – prvotní rovinná konzola, uprostřed - konzola PARÁT-II-JB-N,  
vpravo – nový požadavek uspořádání pro konzolu PARÁT-III-JB-N

Zaměnitelnost konzol je důležitá zpravidla při rekonstrukcích stávajících linek, kde se při výměně PB požaduje zachování stávajícího místa. Jedině tak není nutné projednávat nové umístění stožáru s majiteli pozemků. Zaměnitelnost spočívá v dosažení stejné nebo větší maximální vzdálenosti podpěrných bodů se stejným nebo obdobným vodičem a za předepsaných povětrnostních podmínek. Při návrhu se vychází z předpokladu upevnění obou konců vodičů ve stejné výši. V praxi se rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost nepoužívá, ale nelze vyloučit ojedinělé případy.

Z rozměrového uspořádání vodičů se vypočte maximální dovolený průhyb  $f_{\max}$  pro nejpoužívanějších typy vodičů, podle rovnice (3.3). Poté se řeší stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči, při jednotlivých námrazových oblastí.

Stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2 \quad (3.2)$$

kde je:

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| $\sigma_{H1}, \sigma_{H0}$ | vodorovné mechanické napětí ve stavech 1 a 0 [MPa] |
| $E$                        | modul pružnosti vodiče [MPa]                       |
| $\vartheta_1, \vartheta_0$ | teplota okolí ve stavech 1 a 0 [°C]                |
| $\alpha$                   | součinitel tepelné roztažnosti vodiče [°C]         |
| $z_1, z_2$                 | přetížení ve stavech 1 a 0 [ / ]                   |

Do stavové rovnice se dosazují číselné hodnoty vzdálenosti mezi PB a výsledkem je vodorovné napětí ve vodiči  $\sigma_H$ , jehož hodnota nesmí překročit dovolenou mez napětí od výrobce  $\sigma_{dov\ max}$ . Maximální dovolenou vzdálenost mezi PB  $a_{max}$  pro konkrétní lano určí stav, při kterém je dosažena hodnota  $\sigma_{dov\ max}$ .

Získané hodnoty  $a_{max}$  a  $\sigma_{dov\ max}$  se dosadí do rovnice pro výpočet obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly, ve které se provede kontrola, zda nebyla překročena hodnota maximálního dovoleného průhybu od rozměrového uspořádání konzoly  $f_{max}$ . Pokud se hodnota  $f_{max}$  překročila, postupně se snižuje  $a_{max}$ , dokud nebude  $f_{max}$  v rovnováze s hodnotou dle výpočtu rozměrového uspořádání vodičů.

Obecný tvar průhybové křivky jako paraboly je:

$$f_{max} = \frac{a_{max}^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} \quad (3.5)$$

kde je:

$a_{max}$  délka rozpětí (maximální vzdálenost mezi podpěrnými body) [m]

$\gamma$  měrná tíha vodiče [ $N \cdot mm^{-2} \cdot m^{-1}$ ]

$z$  přetížení vodiče námrazou [-]

$\sigma_H$  Vodorovné namáhání ve vodiči [MPa]

Správně navržená geometrie systému konzol bude vykazovat hodnoty maximální vzdálenosti mezi PB, blízké hodnotám v tabulce č. 7.

### 3.2.3.4 Maximální vzdálenost mezi PB s konzolou PAŘÁT-III-JB-N

Na konzoly PAŘÁT-III-JB-N se nejprve musí prověřit, jaký průhyb dovolí mezifázová vzdálenost mezi vodiči na bočních ramenech a mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním. Dovolенý průhyb pak stanoví ta rizikovější mezifázová vzdálenost.

Kvůli velkému rozsahu výpočtu se zde podrobně vyřeší pouze jeden stav pro jeden konkrétní vodič a ostatní stavy se ukáží formou výsledků v souhrnných tabulkách.

Podle tabulky č. 7, musí konzola umožnit svým rozměrovým uspořádáním vzdálenost mezi podpěrnými body  $a_{max}=127$  [m] pro vodič 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti.

Výpočet  $k_{emp}$  a  $f_{max}$  se provede podle vzorců (3.2) a (3.3), pro všechny typy nejpoužívanějších vodičů. V ČR jsou to vodiče 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe a 110/22 AlFe.

Výpočet součinitele  $k_{emp}$ , pro vodič 42/7 AlFe:

$$\begin{aligned}
 k_{emp} &= 0,56 + \frac{(1+d/g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right] \\
 &= 0,56 + \frac{(1+9/0,17159)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{61,9}{50} \right) \cos(2 \cdot 61,9) + 0,5 \sin(2 \cdot 61,9) \right] \\
 &= \underline{\underline{0,837}}
 \end{aligned}$$

Výpočet maximálního dovoleného průhybu  $f_{max}$  pro vodič 42/7 AlFe:

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 = \left( \frac{1,7 - (0,6 \cdot 0,26)}{0,837} \right)^2 = \underline{\underline{3,4}} \text{ [m]}$$

Tab. 8 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodiče bočního a horního, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,7 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=61,9^\circ$ |           |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                      | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,837                                                                                          | 3,4       |
| 70/11-1 AlFe | 0,797                                                                                          | 3,75      |
| 110/22 AlFe  | 0,741                                                                                          | 4,34      |

Tab. 9 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodičů bočních, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,6 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=0^\circ$ |           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                   | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,674                                                                                       | 4,59      |
| 70/11-1 AlFe | 0,658                                                                                       | 4,82      |
| 110/22 AlFe  | 0,635                                                                                       | 5,18      |

Z tabulek 8 a 9 je patrné, že mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním, je rizikovější, než vodorovná vzdálenost mezi vodiči bočními. Maximální dovolený průhyb vodiče je stanoven tím přísnějším kritériem dle tabulky č. 8.

Nyní se může přejít k výpočtu maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body přes již zmíněnou stavovou rovnici a rovnici obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly.

Výpočet stavové rovnice (3.4) pro přepočet tahu ve vodiči 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti, při dosazení  $a_{max}=139\text{m}$ :

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2$$

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} \cdot \left( \frac{139 \cdot 1}{38} \right)^2 + 0,000018714 \cdot 80004 \cdot (-5 - (-5)) - 38 \right] = \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} (139 \cdot 4,672)^2$$

Výsledkem je velikost vodorovného napětí ve vodiči  $\sigma_{H1}=114,423$  [MPa]. Výrobce lan uvádí hodnotu  $\sigma_{\text{dov max AlFe42/7}} = 109,164$  [MPa]. Vzhledem k tomu, že tyto výpočty jsou pouze orientační, je výsledek vyhovující. Následuje kontrolní výpočet maximálního dovoleného průhybu z obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly podle rovnice (3.5):

$$f_{\text{max}} = \frac{a^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} = \frac{139^2 \cdot 0,03401 \cdot 4,672}{8 \cdot 114,423} = 3,404 [\text{m}]$$

Tento stav splňuje zadání, konzola umožňuje v lehké námrazové oblasti maximální dovolenou vzdálenost  $a_{\text{max}}=139$  m. To je o 12 m více, než prvotní rovinná konzola. Výsledky pro ostatní vodiče a námrazové oblasti jsou znázorněny v tabulce č. 10

Tab. 10 – Maximální vzdálenosti PB, podle rozměr. uspořádání na konzole PAŘÁT-III-JB-N (v závorkách jsou hodnoty rozdílu oproti původním rovinným konzolám)

| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |          |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká  |
| 42/7 AlFe    | 139 (+12)                                                             | 96 (+6)   | 80 (-6)  |
| 70/11-1 AlFe | 152 (+2)                                                              | 123 (+1)  | 101 (-4) |
| 110/22 AlFe  | 175 (-5)                                                              | 147 (-6)  | 124 (-9) |

Konzola PAŘÁT-III-JB-N těsně nesplňuje požadavek záměnnosti ve všech případech, ale nesmí se zapomenout, že se jedná o nejlehčí konzolu ze systému PAŘÁT-III. Rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost se navíc téměř neprovádí.

V extrémních vzdálenostech se použije konzola PAŘÁT-III-DB-R, popřípadě konzoly jiného systému s většími mezifázovými vzdálenostmi a mnohem vyšší pevností.

### 3.2.3.5 Místa pro montáž izolátorů

Podle účelu podpěrného bodu musí konzola umožnit montáž příslušných typů izolátorů, které jsou uvedeny v kapitole 3.1.4. Na nosné konzoly se montují podpěrné izolátory typu VPA/VPAv, pomocí šroubu se závitem M20 viz obrázek 8.

Jelikož spojovací materiál a izolátory nejsou součástí dodávky výrobců konzol, výrobce musí respektovat zavedené délky šroubů dle standardů energetik a přizpůsobit tomu tvar konstrukce. Podle zkušeností je optimální zvolit profil o velikosti 50, 80, 90 nebo 100 mm, skrz který prochází šroub M20 délky 80, 100, 110 nebo 120 mm. Otvory pro šrouby se volí vždy o 2 mm větší než je jmenovitý průměr závitu, kvůli povlaku technologií žárového zinkování.

Konzoly rohové a kotevní jsou konstruovány tak, aby umožnily montáž kotevních izolátorů. Konstrukce musí obsahovat navařené kotevní desky (příložky), do kterých se montují kotevní klouby různých velikostí se zapřaženými kotevními izolátory. Velikosti kloubů, zavedené ve standardech energetik, jsou na obrázku č. 10. Skrz otvory v kotevních deskách o průměru 22 mm a kotevní kloub se provléká šroub se závitem M20x130, který je axiálně jištěný maticí, nebo závlačkou. Otvory na kotevních deskách musí být vzdálené od konstrukce minimálně 30 mm.

### **3.2.3.6 Technologické úpravy konzol pro zinkování**

Konzoly musí být navrženy s ohledem na korozi – s uplatněním vhodné povrchové ochrany dle EN ISO 12944 [2].

Kvůli technologii žárového zinkování konzoly nesmí obsahovat žádné uzavřené dutiny v profilech. Ani kapsy, které by mohly bránit samovolnému stékání roztaveného zinku při vynoření konzoly z vany. Pokud se naskytnou takovéto dutiny u konstrukce, musí se v daných místech provést tzv. technologickými prostřihy. Technologické prostřihy se zakreslují do výrobní dokumentace jednotlivých dílů a počítá se s nimi již od samého počátku navrhování, protože mohou zeslabit průřez základního materiálu, či průřez svarového spoje.

### **3.2.4 Technologie výroby**

Výroba konzoly se skládá z pěti výrobních fází. (výroba jednotlivých dílů, svařování technologií MAG, externí žárové zinkování, kompletace a balení). Výroba dílů sestavy spočívá v řezání polotovarů na pásových pilách. Následuje stříhání otvorů na hydraulických lisech.

Díly se mohou v lisech také ve speciálních přípravcích ohýbat. Hotové díly se shromažďují na svářečském pracovišti a naskládají se podle výrobního výkresu do přípravku, upnutém na pracovním stole. Přesně usazené dílce se k sobě nejdříve nabodují a poté se na požadovaných místech provedou svarové spoje. Svařené sestavy se přepravují do zinkovny, kde se provádí ochranný povlak technologií žárového zinkování.

Zinkované výrobky se vrací zpět do společnosti ES na pracoviště kompletace, kde se konzola opatří spojovacím materiálem. Následně se provádí balení konzol na palety a přemístění do výdejních prostorů.

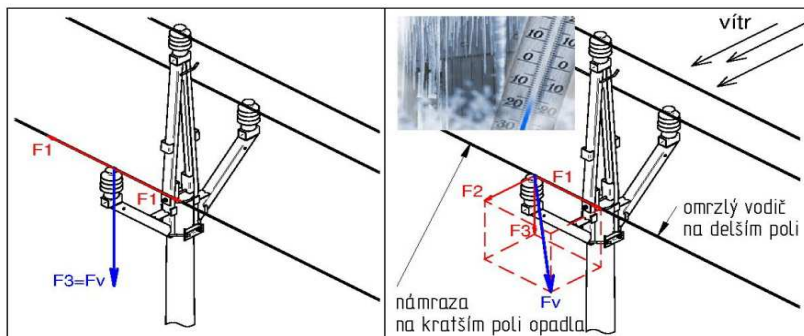
### 3.3 Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N způsobují vodiče připevněné v izolátorech. Zatížení lze zatřídit do dvou kategorií, stálé a nahodilé. Za stálé zatížení se považuje tíha vodičů z přilehlých rozpětí, tah z předpětí kotevního lana trvale kotveného podpěrného bodu při referenční teplotě a účinek tahu vodiče při referenční teplotě. Tíha samotné konzoly a izolátorů je zanedbatelná. Nahodilá zatížení způsobuje výrazná změna teploty, vítr a námraza.

Pro potřebu správného dimenzování konzoly vůči maximální provozní zatížení (nejnepříznivější kombinací všech stálých i nahodilých jevů) musí být známi následující parametry.

- Parametry nejtěžšího vodiče
- Maximální vzdálenost mezi podpěrnými body
- Nejnepříznivější uvažovaná nahodilá zatížení vodičů v podobě větru a námrazy

Provozní zatížení je způsobeno třemi složkami  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$ , viz obrázek č. 24. Síla  $F_1$  působí ve směru vedení a je způsobena stálou tahovou silou vodičů způsobenou rozdílnými délkami sousedních polí, popřípadě nahodilým zatížením v podobě nerovnoměrné námrazy na sousedních polích. Síla  $F_2$  působí kolmo na směr vedení a je způsobena větrem v témže směru. Pokud je PB v lomu trasy, přidává se ještě výslednice tahových sil. Síla  $F_3$  plyne z tíhy vodičů, jako součet polovin sousedních polí.



Obr. 24: Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-II-JB-N:  
vlevo - při rovnováze tahových sil, bez větru a námrazy, vpravo – maximální zatížení



Pro účely dimenzování konzoly se zavádí určitá zjednodušení ve výpočtech, proto se obvykle konzoly dimenzují na únosnost provozního zatížení, jehož maximum se ještě násobí koeficientem spolehlivosti. Snahou výrobce je dimenzovat konzoly tak, aby jejich pevnost nebyla nejslabším článkem podpěrného bodu. Při překročení maximálního provozního zatížení dojde s největší pravděpodobností dříve k porušení izolátorů, nebo dokonce samotných stožárů.

Společnost ES si nechalo provozní zatížení posoudit od autorizovaných projektantů a odborných zaměstnanců energetik. Vzhledem k velkému rozsahu této problematiky, se zde uvedou pouze finální vztahy s číselným dosazením. Za správnost výsledků odpovídá společnost E. ON ČR s.r.o.

Síla F3, vztažená k jednomu vodiči, se vypočte ze vztahu (3.6), pro námrazovou oblast N3.

$$F3 = a_{max} \cdot (g_c \cdot I_R) \quad (3.6)$$

kde je:

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$g_c$  tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky [N·m<sup>-1</sup>]

$I_R$  referenční zatížení námrazou na jednotku délky [N/m]

Síla F2, vztažená k jednomu vodiči, se řeší vztahem (3.7), pro kategorii terénu II. a větru o síle stupně III.

$$F2 = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot a_{max} \cdot \sin^2 \beta \quad (3.7)$$

kde je:

$q_h$  dynamický tlak větru ve výšce h nad zemí [Pa]

$G_q$  poryvový součinitel [-]

$G_c$  součinitel rozpětí [-]

$d$  průměr holého, izolovaného vodiče, nebo kabelového systému [m]

$C_c$  součinitel aerodynamického odporu vodiče [-]

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$\beta$  úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče [°]

Dosazením číselných hodnot do rovnic (3.6 a 3.7) vzejdou zbývající síly F3 a F2.

$$F3 = 124 \cdot (4,8490 + 27,081) = 3,959 \text{ kN}$$

$$F2 = 563 \cdot 2,05 \cdot 0,95 \cdot 0,01496 \cdot 1,0 \cdot 175 \cdot 1,0 = 2,870 \text{ kN}$$

Síla  $F_1$ , vztažená k jednomu vodiči, byla po dohodě s uživateli stanovena na hodnotu 3 kN. V praxi se zjistilo, že při opadnutí námrazy na jednom nejdelším možném poli v námrazové oblasti N3, vznikne nahodilá síla  $F_1=2,641$  kN.

### 3.4 Výpočet pevnosti konzoly VN

#### 3.4.1 Normy a předpisy pro výpočet pevnosti

V současné době pro výpočet pevnosti stavebních konstrukcí platí tzv. Eurokódy, které jsou začleněné do systému ČSN [3]. Únosnost staticky zatížených svařovaných ocelových konstrukcí se nachází v následujících normách:

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1993 (Eurokód 3) Navrhování ocelových konstrukcí
  - ČSN EN 1993-1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
  - ČSN EN 1993-1-8 Navrhování styčníků

#### 3.4.2 Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce

Pro ocelové konstrukce se použije rovnice (3.8) z EN 1990, z které se stanoví návrhová únosnost základního materiálu svařované ocelové konstrukce [4]:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (3.8)$$

kde je:

- $R_d$       Návrhová únosnost základního materiálu [MPa]  
 $R_k$       Dolní mez kluzu základního materiálu [MPa]  
 $\gamma_M$       dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]

Hodnota návrhové únosnosti zvoleného materiálu, nesmí být v žádném místě při působení maximálního provozního zatížení překročena, pak platí vztah (3.9).

$$\sigma_{max} \leq R_d \quad (3.9)$$

kde je:

- $\sigma_{max}$       maximální naměřené napětí [MPa]

### 3.4.3 Návrhová únosnost svarových spojů

Ustanovení této kapitoly se vztahují na svařitelné konstrukční oceli s tloušťkou materiálu 4mm a více, které odpovídají EN 1993-1-1. Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou obdobné vlastnostem základního materiálu. Svary v tenčích materiálech mají splňovat EN 1993-1-3 a svary konstrukčních dutých průřezů s tloušťkou materiálu 2,5mm a více se řídí kapitolou 7 této normy. Obvykle se požaduje kvalita svaru C podle EN ISO 25817, není-li uvedeno jinak [4].

#### 3.4.3.1 Návrhová únosnost koutových svarových spojů

Návrhová únosnost koutového svaru se má určit buď metodou uvažující směr namáhání, která je uvedena, nebo zjednodušenou metodou. V této práci bude aplikována zjednodušená metoda, ve které se stanoví návrhová pevnost svaru ve smyku  $f_{vw,d}$  ze vztahu (3.10) [5]:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (3.10)$$

kde je:

$f_u$  Jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu [MPa]

$\beta_w$  Korelační součinitel podle tabulky [-]

$\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti svaru [-]

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech pevnostní podmínka (3.11):

$$\sigma_{max} \leq f_{vw,d} \quad (3.11)$$

kde je:

$\sigma_{max}$  maximální naměřené napětí [MPa]

#### 3.4.3.2 Návrhová únosnost tupých svarových spojů

Návrhová únosnost s plným provařením se má uvažovat stejná jako návrhová únosnost slabší ze spojovaných částí za předpokladu, že je svar proveden vhodným přídatným materiálem, který zajistí v celé oblasti svaru mez kluzu a pevnost ne menší, než jaká je požadovaná pro základní materiál [5].

### **3.4.4 Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation**

Solid Edge Simulation je nadstavbový modul CAD Solid Edge, jako funkce pro analýzu metodou konečných prvků na bázi řešiče NX Nastran (používá jej ve svém vývoji například NASA). Modul Simulation byl navržen specificky pro inženýry a vývojáře/analytiku, kteří používají Solid Edge pro tvorbu modelů a technické dokumentace. V režimu Simulation se pomocí analýzy MKP vizualizuje přetvoření zatížené konstrukce, nebo hodnoty napětí a jiných zkoumaných veličin. Výsledky simulace omezují nutnost použití reálných prototyp, pomáhají snižovat hmotnost, množství potřebných materiálů a tím i cenu konstrukce [8].

Analýza MKP umožňuje konstrukci, vylepšení a optimalizaci celých návrhů ještě před jejich uvedením do výroby. Tím se zkracuje doba nutná k uvedení produktu na trh a snižují se náklady na přepracování [9].

Modul Simulation poskytuje pevnostní analýzu svařované ocelové konstrukce, vytvořené v prostředí sestavy modeláře Solid Edge. Sestava je řešena jako jedna geometrie, složená z objemových regionů jednotlivých dílců, jejichž objemy jsou vzájemně pevně spojeny. Alternativní řešení je vytvořit ocelovou konstrukci, jako jeden dílec.

Cílem pevnostní analýzy svařovaných ocelových konstrukcí je stanovení dovoleného napětí pro použitý materiál. Přitom se nesmí opomenout tepelné ovlivnění základního materiálu konstrukce, během procesu svařování.

#### **3.4.4.1 Tvorba modelu sestavy v Solid Edge**

Před tvorbou sestavy, která bude podrobena pevnostní analýzou, se vytvoří všechny samostatné díly sestavy. Díly mohou být typu objemové součásti, nebo plechového dílu. K jednotlivým dílům se přiřadí jejich materiálové vlastnosti a uloží se jako samostatné soubory. V režimu sestavy se vymodelované díly načtou a patřičnými vazbami spojí do jednoho celku. Výsledná geometrie sestavy by měla odpovídat co nejbližší reálné konstrukci.

Pro objektivní a rychlé provedení analýzy se provádí některá zjednodušení. Čím více bude geometrie modelu tvarově složitější, tím snáze mohou nastat problémy s vyhodnocením analýzy. Z modelu by se proto měly vyřadit prvky, které nemají zásadní vliv na posuzování pevnosti konstrukce, jako např. některé díry, zaoblení hran, doplňující prvky které nepřenáší napětí apod.

U modelu svařované ocelové konstrukce jsou častými jevy ostré přechody mezi jednotlivými díly sestavy. Ostré přechody vznikají i mezi díly a svarovým kovem a jsou koncentrátoři napětí.

### 3.4.4.2 Postup tvorby analýzy v Solid Edge Simulation

Pokud je připravený model sestavy, přejde se v Solid Edge do režimu Simulation, kde se zvolí potřebné parametry studie. Na výběr jsou tři hlavní typy studií:

- Lineární statika
- Modální analýza
- Vzpěrná analýza

Pro statickou analýzu pevnosti se použije lineární statika. Objem modelu se nahradí příslušným typem sítě:

- Čtyřstěnná
- Plošná
- Kombinovaná

Typ a jemnost sítě se volí podle charakteru konstrukce. Pro analýzu modelu konzoly se zvolí lineární statika a čtyřstěnná síť. Dále se definuje geometrie, zatížení, omezení, síť a spoje, dle nabídek.

Čím jemnější bude struktura sítě, tím přesnější bude výsledek napjatosti, ovšem pro rozměrově velké konstrukce to může znamenat časovou náročnost výpočtu. Optimální síť dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel.

Dále se definuje zatížení reprezentované silou, např. o velikosti 1kN, která bude působit na konci nosníku z horního otvoru vertikálně dolů. Ve finále se nastaví síť modelu, jejíž struktura se volí podle charakteru modelu. Čím jemnější síť nastavíme, tím přesnější můžeme očekávat výsledek analýzy. Zbytečně jemná síť pro velké prvky, zase zbytečně prodlužuje výpočet.

Optimální parametry sítě dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel. Po nastavení sítě se musí vazby mezi jednotlivými dílci nahradit virtuálními spoji, které budou v analýze reprezentovat svarové spoje. Jelikož materiál svarového kovu má větší mez kluzu než materiál konstrukce, tuhost spojů modelu se bude uvažovat jako dokonale tuhá.

Nakonec se odeberou modelu všechny stupně volnosti a nastaví se provozní zatížení. Pokud hraje velkou roli i vlastní tíha konstrukce, nastaví se velikost a směr gravitační síly. U konstrukcí může hrát velkou roli i změna teploty okolního prostředí, Simulation nastavení teploty prostředí v analýze umožňuje.

### 3.4.4.3 Výsledky analýzy

Analýza umožňuje vypracovat následující výsledky:

- Výsledky posunutí (přetvoření)
- Výsledky napětí (normálové, smykové, von Mises apod.)
- Koeficient bezpečnosti modelu

## 3.5 Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES

Ve společnosti ES se funkčnost a pevnost konzol ověřuje zatěžovací zkouškou únosnosti, která se řídí normou ČSN 73 2030 [6]. Zkouška probíhá na reálně zhotoveném prototypu, který se upne na zkušební zkrácený betonový sloup. Na příslušná místa konzoly se připevní lano, jehož druhý konec se připojí do dynamometru. Dynamometr je zapřažen za hák jeřábu, který konstrukci postupně zatěžuje podle zatěžovacího diagramu. Výsledkem zkoušky je hodnota zatížení v požadovaném směru, při které dojde k překročení meze únosnosti konstrukce (výskyt trvalých plastických deformací, ztráta stability apod.).

### 3.5.1 Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030

#### 3.5.1.1 Účel zatěžovacích zkoušek

Účelem zatěžovací zkoušky je [6]:

- posoudit spolehlivost konstrukce, pokud toto posouzení je předepsáno v systému, kterým se zajišťuje spolehlivost konstrukcí,
- ověřit výpočtové modely, pokud je pochybnost, že použité výpočtové modely nejsou dostatečně výstižné

#### 3.5.1.2 Druhy zatěžovacích zkoušek

Z hlediska způsobu vyhodnocení se zatěžovací zkoušky dělí na [6]:

- Zatěžovací zkoušky prováděné do dosažení únosnosti konstrukce
- Zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti konstrukce

Z hlediska účelu se zatěžovací zkoušky dělí [6]:

- Průkazní, popř. prototypové zkoušky, sloužící k ověření spolehlivosti před zahájením výroby konstrukcí
- Kontrolní výrobní zkoušky, sloužící k prověření spolehlivosti v průběhu, nebo po dokončení výroby konstrukcí

### 3.5.1.3 Provádění zatěžovacích zkoušek

Zkoušky se provádí v takových podmínkách, které se co nejvíce přibližují podmínkám působícím v provozu. Při zatěžovací zkoušce se postupně zvyšuje zatížení na konstrukci a měří se odezva konstrukce. Konstrukce se zatěžuje podle předem stanoveného zatěžovacího postupu [6].

### 3.5.1.4 Základní zatěžovací postup

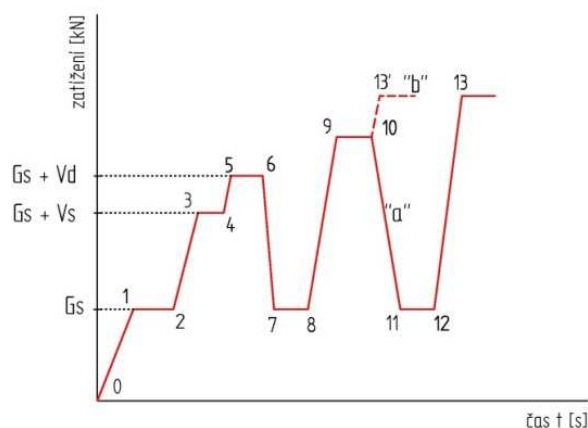
Níže popsáný zatěžovací postup je znázorněn na obrázku č. 25 [6].

- a) Konstrukce, která je při začátku zkoušky zatížena vlastní tíhou, popřípadě tíhou zkušebního zařízení se zatíží na hodnotu  $G_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého zatížení (bod 1).
- b) Po ustálení přetvoření (bod 2) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého a nahodilého zatížení (bod 3).
- c) Po ustálení přetvoření (bod 4) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_d$ , která odpovídá součtu provozní hodnoty stálého zatížení a extrémní hodnoty nahodilého zatížení (bod 5).
- d) Po ustálení přetvoření (bod 6) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 7).
- e) Po ustálení přetvoření (bod 8) se zatížení zvýší na hodnotu, která je podle povahy případu o 10 až 20 % vyšší než hodnota  $G_S + V_d$  (bod 9).
- f) Po ustálení přetvoření (bod 10) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 11) a opět se zjistí velikost přetvoření (bod 12 - větev „a“)
- g) Při dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 až 12 s tím, že při každém zatěžovacím cyklu se zatížení zvýší o dalších 10 až 20 % z hodnoty  $G_S + V_d$ .

V odůvodněných případech je možno zkoušku provést tak, že v bodě 10 se konstrukce neodlehčuje a zatížení se postupně při každém zatěžovacím stupni zvýší o 10 až 20% z hodnoty  $G_S + V_d$  (větev „b“) [6].

Zatěžovací postup při zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce se provádí podle základního zatěžovacího postupu. Dosažením únosnosti konstrukce je zkouška ukončena [6].

Zatěžovací postup při zkoušce bez dosažení únosnosti konstrukce se postupuje jen do bodu 8 dle základního zatěžovacího postupu, kdy je zkouška ukončena, nebo se opakuje se zpřísněnými kritérii [6].



Obr. 25: Základní zatěžovací postup

### 3.5.1.5 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Při vyhodnocení se zatěžovací zkoušky se zkoušená konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti. Při zatěžovací zkoušce, je zkoušená konstrukce spolehlivá z hlediska mezního stavu únosnosti splňuje-li zároveň tato kritéria [6]:

- Experimentální hodnota únosnosti je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$
- Při zatížení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S + V_d$  a následném odlehčení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S$  (body 6 a 8 základního zatěžovacího postupu), je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením menší než  $\lambda_l$ .

Za dosažení únosnosti ocelové konstrukce při zatěžovací zkoušce se považuje [6]:

- Ztráta stability
- Neustálé přetváření konstrukce při konstantním zatížení
- Trhliny ve stycích a ostatních prvcích
- Prokluz třecích spojů
- U ohýbaných prvků průhyb větší než 1/50 rozpětí
- Jiná porušení konstrukce

Součinitel spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro prvky porušené ohybem:  $\gamma_{exp}=1,3$
- Pro prvky porušené tlakem popř. jinak:  $\gamma_{exp}=1,5$

Součinitel přetvoření  $\lambda_l$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro svařované konstrukce  $\lambda_l=0,10$
- Pro nýtované konstrukce  $\lambda_l=0,12$
- Pro šroubované konstrukce  $\lambda_l=0,10$



Mez únosnosti konzoly musí nastat při zatížení větším nebo rovno, výslednému maximálního provozního zatížení násobeného součinitelem spolehlivosti zkoušení  $Y_{exp}$ .

Při zatěžovací zkoušce vrcholové konzoly se dále vizuálně kontroluje usmýknutí konzoly na betonovém sloupu, celková deformace konzoly, olupování vrstvy zinku následkem deformací a praskliny ve svarových spojích.

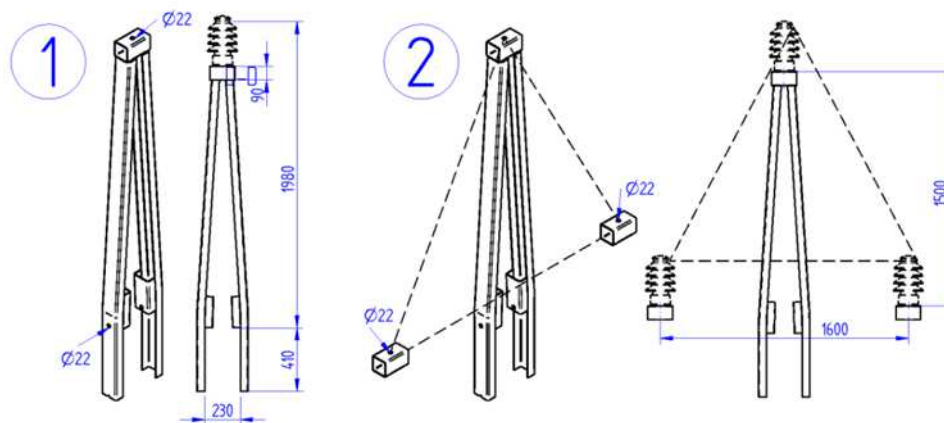
Výstupním dokumentem zatěžovací zkoušky je protokol o zkoušce únosnosti, který obsahuje veškerá naměřená data a vyhodnocení zkoušky.

Měřícím zařízením zatěžovací zkoušky je jeřábová váha typu OCS-A s výrobním číslem 1105-A3t-01, jejíž poslední kalibrace se provedla 8. 9. 2011 autorizovanou společností Lesák-Zeman.

## 4 Experimentální část

### 4.1 Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Konzola musí splnit veškeré požadavky, které jsou uvedené v kapitole 3.2. Geometrie konzoly vychází z požadovaného rozměrového uspořádání vodičů na konzole.



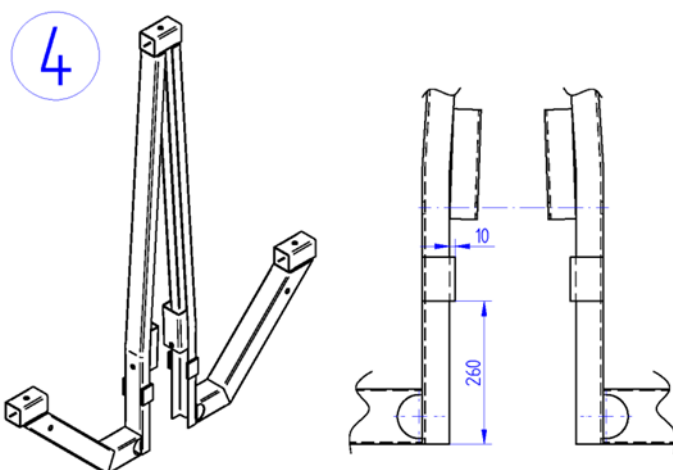
Obr. 26: Návrh středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Střední rameno je konstruováno tak, aby drželo horní fázi linky VN ve výšce 1980 mm nad hlavou betonového sloupu. Středové rameno se skládá ze dvou jeklů tvaru U100x50x5, které jsou v horním konci přivařené k uzavřenému čtvercovému jecku 90x90x5, nazývanému hlavou. Hlava obsahuje průchozí otvor o průměru 22 mm, pro montáž nosného izolátoru šroubem M20. Dolní konce mezi sebou tvoří mezeru o velikosti 230 mm.

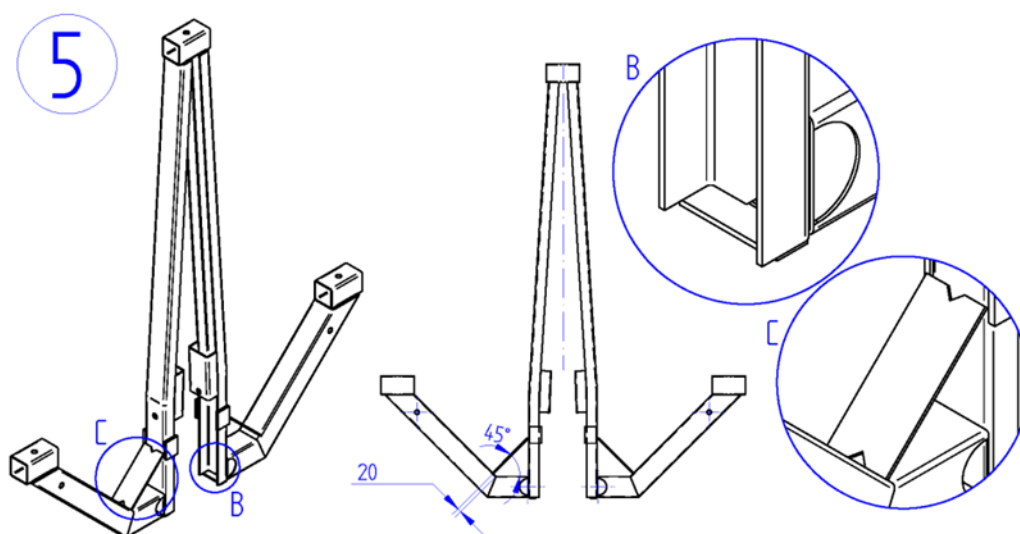
Střední rameno se může mírně roztahovat a stahovat na průměr hlavy betonového sloupu od 180 do 250 mm, aniž by docházelo k popraskání svarových spojů. Z vnitřní strany středového ramena jsou navařené podpěry, které se budou shora opírat o hlavu sloupu, zároveň budou sloužit jako držáky plastové čepice, zabraňující zatékání do vnitřní dutiny sloupu. Skrze podpěry a středové rameno bude procházet průchozí otvor o průměru 22 mm, pro svorník M20.

Konstrukce bočních ramen musí splnit požadovanou vertikální i horizontální mezifázovou vzdálenost mezi vodiči, viz obrázek č. 23 v kapitole 3.2.3.3. Tvarově výhodné je použít v místě upnutí bočních nosných izolátorů stejný prvek jako na horním konci středního ramena. Boční rameno je složeno ze třech dílů. Aby byla co nejlehčí a jejich výroba co nejjednodušší, použijí se uzavřené čtvercové ječky 100x100x3, které se řezou pod úhlem 45°.

Na středové rameno jsou navařené čtyři opěrné desky, které plní funkci zařezávání do betonového sloupu. Desky vystupují 10 mm od středového ramena a jsou vzdálené od spodní části konzoly 260 mm, aby se konzola ve spodní části dotýkala konického sloupu.



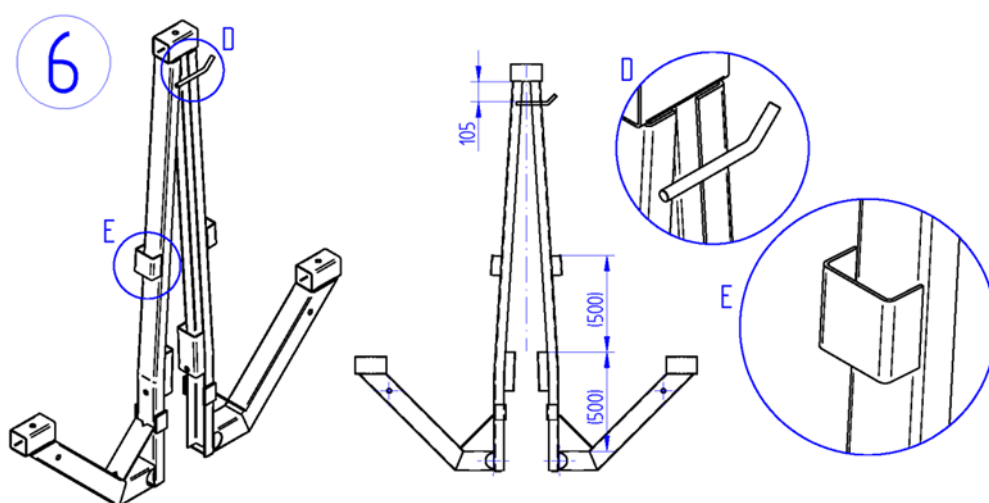
Strana 51



Obr. 29: Návrh výztuhy bočních ramen PARÁT-III-JB-N

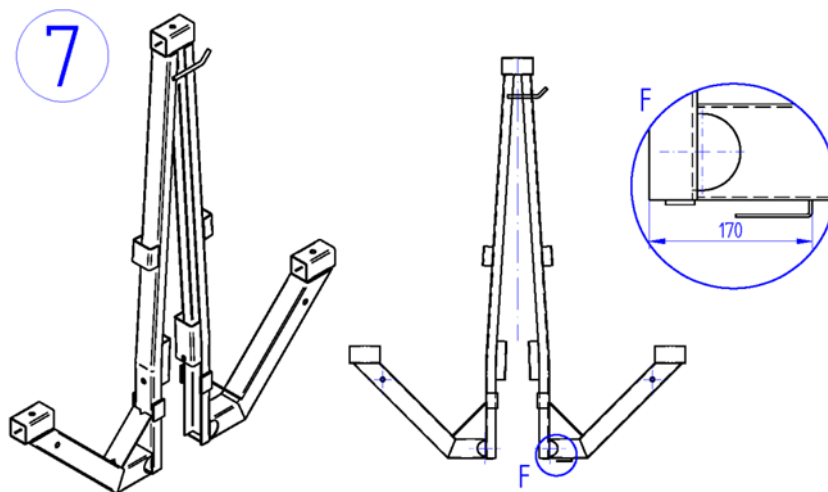
Na vnější strany středového ramena jsou navařeny držáky stupaček, do nichž se zasunují montážní stupačky přizpůsobeného tvaru, viz detail E na obrázku č. 32. Koncepte výstupu na konzoly je tvořena systematicky tak, aby každá další nášlapná plocha tvořila krok maximálně po 500 mm. Montér, který se postaví na montážní stupačku, zasunutou v držáku stupačky, má izolátory v úrovni ramen.

Konzola musí splnit bezpečnost práce ve výšce. Podle ustanovení §50, vyhlášky č. 324/90 Sb., musí být pracovník zajištěn proti pádu osobním zajištěním (bezpečnostním postrojem). K tomu slouží kotevní úchyt, za který lze zakotvit karabinu. Volný konec kotevního úchyty je navíc ohnutý směrem nahoru a tvoří žlábek, do kterého lze dočasně položit vodič z horní fáze při výměně izolátoru viz detail D na obrázku č. 30.



Obr. 30: Návrh držáku stupačky a kotevního úchyty PARÁT-III-JB-N

Každá konzola vysokého napětí musí obsahovat přípojně místo pro uzemnění. Společnost ES řeší přípojně místo navařeným tvarovaným zemnicím páskem o velikosti profilu 30x3 viz obrázek č. 31. Uzemnění se provede přivedením hlavního ochranného vodiče (FeZn 30/4) na zemnicí pásek a sevření křížovou svorkou.



Obr. 31: Návrh přípojného místa pro uzemnění PARÁT-III-JB-N

Konzola PARÁT-III-JB-N v této fázi splňuje všechny konstrukční požadavky a je zapotřebí ověřit její pevnost a funkčnost.

## 4.2 Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation

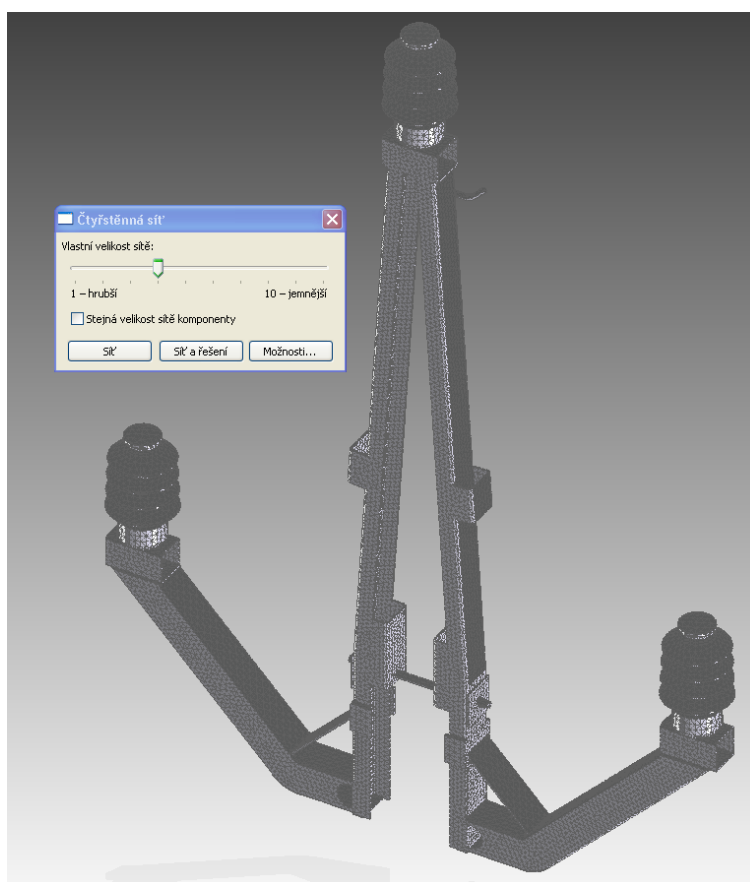
V režimu sestavy (assembly) základního modeláře Solid Edge ST4 je vytvořena konzola PARÁT-III-JB-N. Konzola v režimu sestavy obsahuje velké množství nevyhnutelných ostrých přechodů mezi jednotlivými tvary dílců, ve kterých se koncentruje napětí. V režimu sestavy je navíc velice obtížné modelovat objemy svarů, které tyto ostré přechody zmírní. Pevnostní analýza neumí řešit usmýknutí konzoly na konickém betonovém sloupu, bude proto použita pouze jako nástroj pro zjištění napětí a deformace v konzole.

Pro získání přesnějších výsledků je vytvořen náhradní jednodílný model konzoly v režimu „part“, ve kterém se zaoblí přechody mezi díly. Zaoblení bude zároveň představovat v některých místech i koutové svary. Za účelem zrychlení výpočtu se v analýze nezohlední stavitelná třmenová objímka. Konzole jsou odebrány všechny stupně volnosti na plochách opěrných destiček, kde jsou ve skutečnosti zařízle do betonového sloupu. Druhé omezení je provedeno na spodních plochách profilů, které se ve skutečnosti opírají o betonový sloup. Svorník, který svírá nad hlavou sloupu středové rameno, je pro zjednodušení výpočtu nahrazen navařenou tyčí stejného průměru. Pevnostní analýzy se provedly v krocích podle tabulky č. 11.

Ve všech analýzách je zohledněno působení gravitační síly  $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a teplota okolí  $T=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 11 – Program pevnostních analýz konzoly PAŘÁT-III-JB-N

| Číslo analýzy | Popis zkoušky                                                                    | Velikost a směr provozní zatížení   |                                                                  |                                                                        |                                                                 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|               |                                                                                  | Zatížení vodičem<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(odloženým vodičem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>Držáku stupáčky<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] |
| A-01          | zatížení bočního ramena vodičem                                                  | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-02          | zatížení středního ramena vodičem                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-03          | zatížení všech třech ramen vodiči                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-04          | zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem                                  | 0                                   | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-05          | zatížení kotevního úchytu odloženým vodičem                                      | 0                                   | 0                                                                | 0, 0, 7                                                                | 0                                                               |
| A-06          | zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka                                        | 0                                   | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |
| A-07          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem | 3, 3, 7                             | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-08          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka       | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |



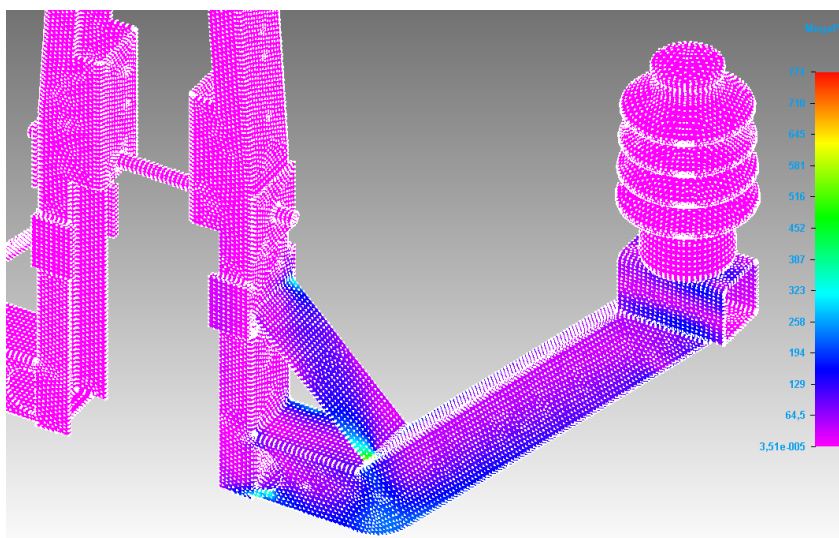
Obr. 32: Výpočtový model konzoly PAŘÁT-III-JB-N

U všech analýz se nastavil typ studie na lineární statiku. Výpočtový model je složen z čtyřstěnného typu sítě viz obr. 32. Sít' modelu obsahuje 118 186 elementů a 220 845 uzlů. Subjektivní velikost sítě byla stanovena na velikost 4 (stupnice 1-10, 10 - nejjemnější). Modelu byl přiřazen materiál S235JR se stanovenou minimální mezí kluzu  $R_e=235$  MPa a mezí pevnosti  $R_m=360$ MPa. Model obsahuje podpěrné izolátory typu VPA, v jejichž krčkách jsou připevněné vodiče. Z těchto krčků budou působit jednotlivé síly provozního zatížení do příslušných směrů. Z praxe je zjištěno, že síla F2 je rizikovější při působení směrem od osy sloupu ven. V analýze A-01 se proto směr této síly respektuje, kdežto v analýze A-03, A-07 a A-08 bude na jednom bočním ramenu působit síla F2 od sloupu a na druhém bočním ramenu k ose sloupu. Keramické izolátory VPA figurují v analýze jako dokonale tuhé prvky.

Analýza A-01 samostatně zatíženého bočního ramena maximálním provozním zatížením vykazovala i přes veškerou snahu vymodelovat co nejhladší přechody mezi jednotlivými díly sestavy mnoho míst s výskytem zvýšené koncentrace napětí (vruby). V těchto místech je výrazně překročena mez kluzu. Při porovnání nejvyšší naměřené hodnoty napětí s vypočtenou návrhovou únosností základního materiálu (nebo návrhovou únosností koutového svarového spoje), se tyto špičky napětí v centrech výskytů vrubů pominou. Nejvíce namáhanými místy bočního ramena je spoj mezi výztuhou a šikmým ramenem, a také spoj mezi profilem středního ramena a výztuhou. Vysoká koncentrace napětí je i ve spodní části prostřihu bočního ramena.

Výsledky pevnostní analýzy A-01:

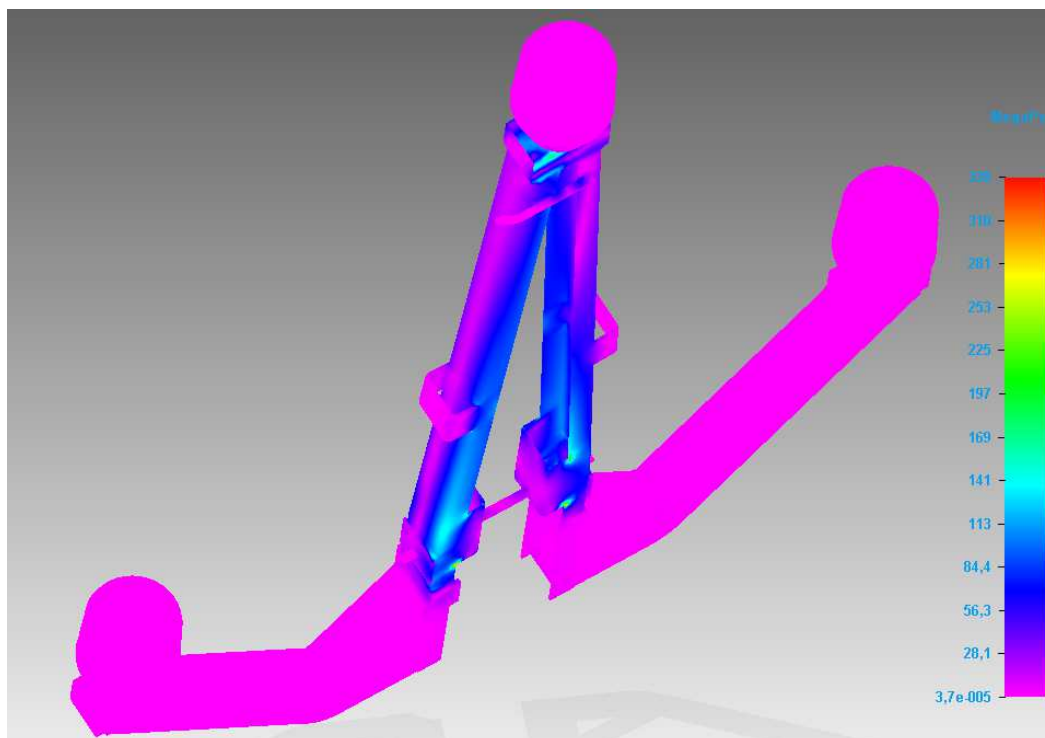
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 774 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku izolátoru: 12,7 mm



Obr. 33: Analýza napětí A-01

Výsledky pevnostní analýzy A-02:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 338 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 145 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm



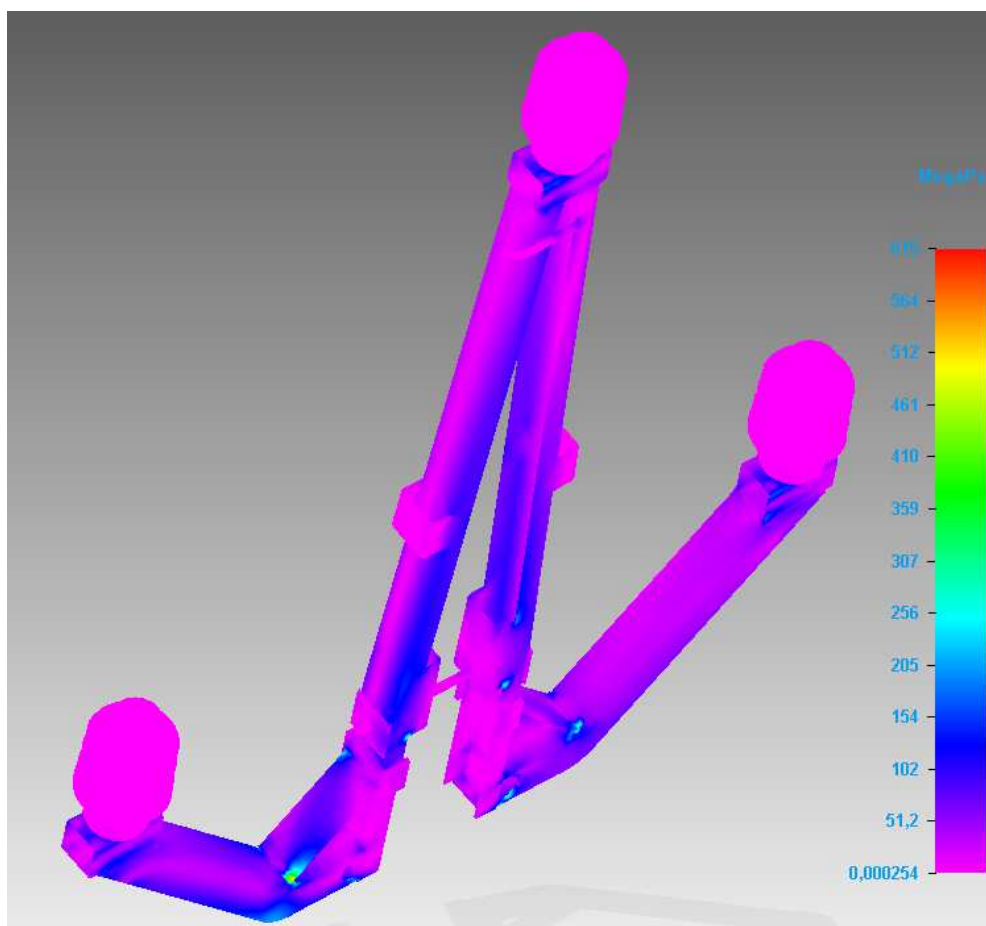
Obr. 34: Analýza napětí A-02

Z výsledků analýzy A-02 (obrázek č. 34) je patrné, že střední rameno není zdaleka tak namáhané jako rameno boční, vyplývá to z použitých silnějších profilů. Střední rameno je složeno ze dvou otevřených jeklů U100x50x5, kdežto boční rameno je pouze z jednoho čtvercového uzavřeného jeklu 100x100x3. Velký význam má i síla ve směru F3, která ve středovém rameni působí do osy sloupu a namáhá rameno pouze na tzv. vzpěr, kdežto u bočního ramena tato síla tvoří velký ohybový moment. Středové rameno je delší než boční a proto dovoluje i větší průhyb, aniž by se překročila mez kluzu materiálu. Z výsledků A-01 a A-02 je dále zajímavé, že napjatost zatíženého bočního ramena téměř nezasahuje do středového ramena a naopak. Z toho plyne, že boční a střední rameno tvoří dva nezávislé okruhy, které se mohou řešit téměř individuálně.

Výsledky pevnostní analýzy A-03:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm

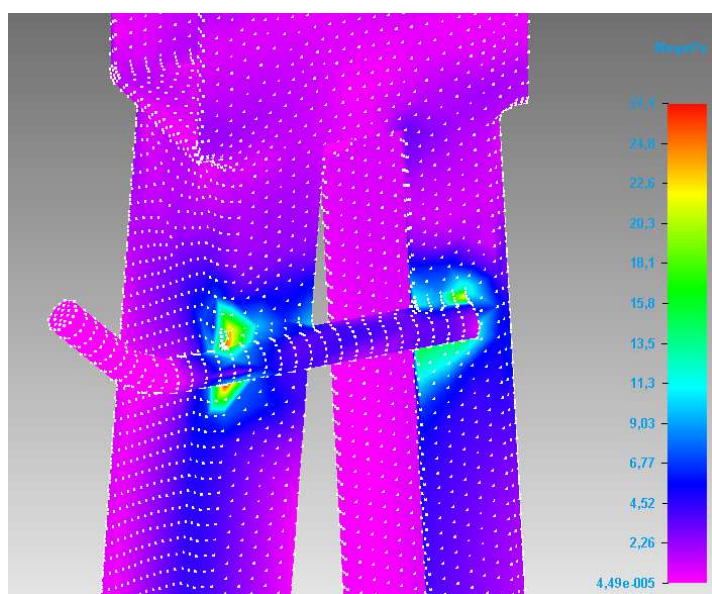




Obr. 35: Analýza napětí A-03

Výsledky pevnostní analýzy A-04:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 27,1 MPa
- Maximální posunutí kotevního úchytu: 0,331 mm

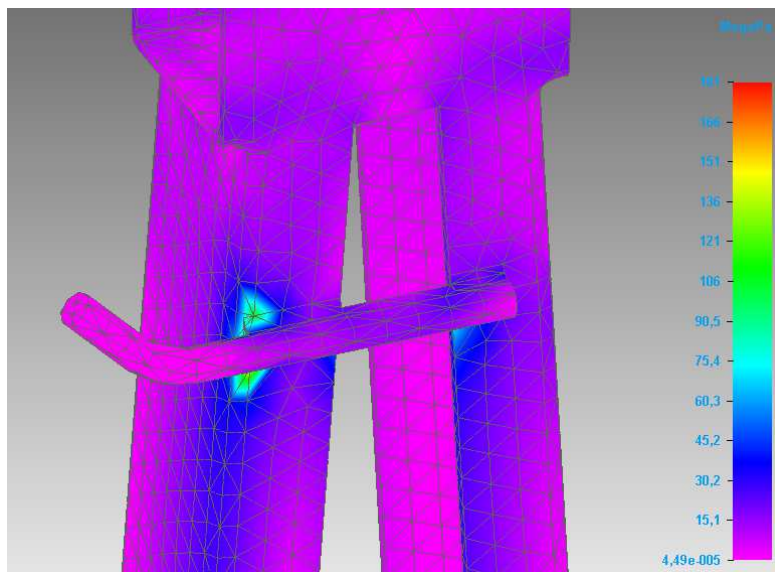


Obr. 36: Analýza napětí A-04

Při osobním zajištění pracovníka o maximální hmotnosti 150 Kg, je vyvinuta na kotevní úchyt síla o velikosti 1,5kN, působící vertikálně ve směru gravitační síly. Z výsledků analýzy A-04 na obrázku č. 36 je patrné, že kotevní úchyt z tvarované tyče o průměru 16mm je dimenzován pro tento účel dostatečně.

Výsledky pevnostní analýzy A-05:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 181 MPa
- Maximální posunutí volného konce kotevního úchytu: 1,12 mm



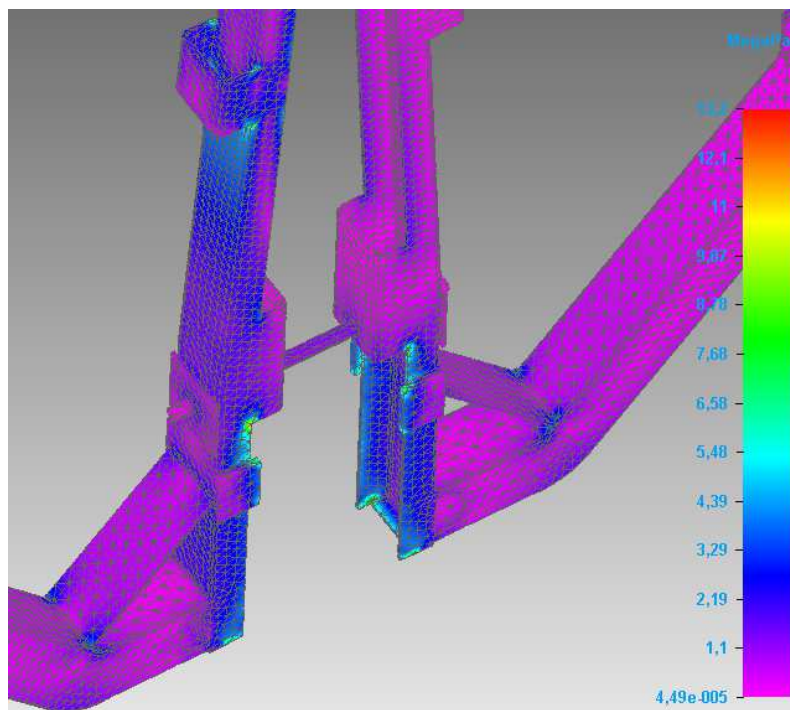
Obr. 37: Analýza napětí A-05

Kotevní úchyt plní ještě druhou funkci, jeho zahnutý volný konec tvoří otevřený hák, do kterého se při výměně poškozeného izolátoru dočasně odkládá vodič. Volný konec kotevního úchytu může být zatížen maximální silou  $F_3=7\text{kN}$ . (V praxi tento vodič při výměně nebude omrzlý, námraza se shazuje). Ostatní síly se neuvažují. Výsledek analýzy napětí A-05 zatíženého kotevního úchytu odloženým vodičem je na obrázku č. 37.

V analýze A-06 se zatížil držák stupačky vertikální silou  $F_3=1,5\text{ kN}$ , od hmotnosti pracovníka 150 Kg. Tato síla vyvolává napětí o velikosti 13,2 MPa. Napjatost způsobuje zanedbatelně velikou deformaci 0,09 mm, viz obr. 38.

Výsledky pevnostní analýzy A-06:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 13,2 MPa
- Maximální posunutí: 0,09 mm



Obr. 38: Analýza napětí A-06

Analýza A-07 (obr. 39) simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-04, která je sice v praxi téměř vyloučená, ale pro zajímavost je zde uvedena. Při uvažované výměně izolátoru je jisté, že před výstupem pracovníka na konzolu se případná námraza na vodičích z okolních polí shodí, tím klesnou hodnoty tíhy vodičů F3. Při extrémních nahodilých zatížení v podobě silného větru se navíc takovéto práce z bezpečnostního hlediska nevykonávají.

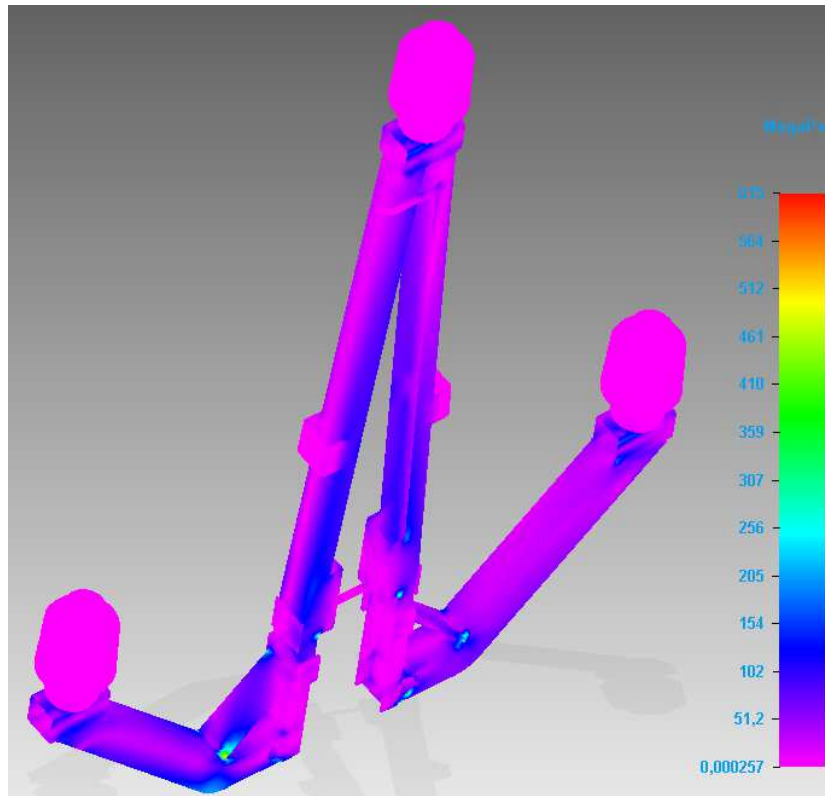
Výsledky pevnostní analýzy A-07:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,7 mm

Poslední analýza A-08 simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-06, která je rovněž v praxi vyloučená. Pracovník bude na konzolu vystupovat kvůli výměně izolátoru až po opadané námraze na vodičích ze sousedních polí. Silný vítr je nepřipustný.

Výsledky pevnostní analýzy A-08:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,4 mm



Obr. 39: Analýza napětí A-07

Po provedení analýz jsou známy hodnoty posunutí (přetvoření) a napjatost konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Nyní zbývá vypočítat dovolené návrhové únosnosti jak použitého základního materiálu S235, tak i materiálu svarového kovu koutových svarových spojů.

### 4.3 Výpočet návrhové únosnosti

#### 4.3.1 Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR

Návrhová únosnost použitého základního materiálu konstrukce S235JR se vypočte podle vztahu (3.8). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_M$  je zvolen podle normy ČSN EN 1993-1-1.

- Návrhová únosnost materiálu S235:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{235}{1,00} = 235 \text{ MPa}$$

kde je:

- dolní mez kluzu oceli S235JR:  $R_k=235 \text{ [MPa]}$
- dílčí součinitel spolehlivosti materiálu:  $\gamma_M=1,00 \text{ [-]}$

### 4.3.2 Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru

Návrhová únosnost koutových svarových spojů se vypočte podle vztahu (3.10). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_{M2}$  a korelační součinitel  $\beta_w$  jsou zvoleny podle normy ČSN EN 1993-1-8.

Návrhová pevnost koutového svaru ve smyku:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207 \text{ MPa}$$

kde je:

- |                                                       |                        |
|-------------------------------------------------------|------------------------|
| - jmen. hodnota meze pevnosti v tahu pro ocel S235JR: | $f_u=360$ [MPa]        |
| - korelační součinitel pro ocel S235:                 | $\beta_w=0,8$ [-]      |
| - dílčí součinitel spolehlivosti (únosnosti svaru)    | $\gamma_{M2}=1,25$ [-] |

## 4.4 Ověření funkčnosti

Podle výrobní dokumentace konzoly PAŘÁT-III-JB-N (příloha č. 3 až 19) byl vyroben reálný prototyp, na kterém se provedla zatěžovací zkouška únosnosti, podle metodiky ověřování funkčnosti ve společnosti ES. Zatěžovací zkouška únosnosti je řízena normou ČSN EN 73 2030.

### 4.4.1 Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti

Prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N se upnul na zkrácený betonový sloup, umístěný ve zkušebním polygonu. Vzhledem k omezenému počtu měřicího zařízení (jeřábová váha – 1 kus) a k omezenému nastavení směru provozního zatížení na zkušebně, se musela provést určité opatření.

- Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil.

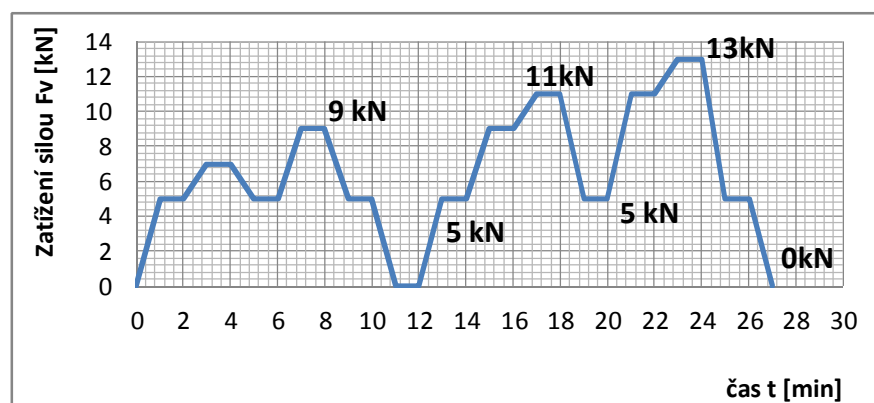
$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 7^2} = 8,2 \text{ kN}$$

- Konzola se umístila spolu s kladkami tak, aby natažené lano od izolátoru příslušného ramena směrem ke kladce simulovalo směr výsledného zatížení  $F_v$ .
- Není umožněno zatěžovat všechny tři ramena najednou, zkoušky únosnosti se proto rozdělí na jednotlivé etapy, ve kterých se bude měřit pouze jedno příslušné místo.

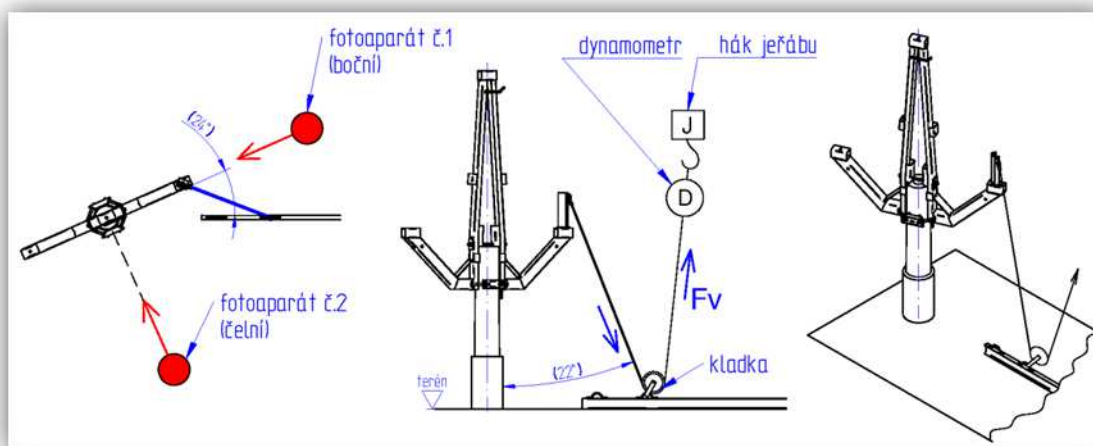
Podle výsledků pevnostní analýzy v softwaru Simulation, je důležité se zaměřit především na zatížení bočního ramena a středního ramena. Zatěžovací zkoušku únosnosti kotevního úchyty a držáku stupačky lze s ohledem na přesvědčivé výsledky pevnostní analýzy zanedbat.

#### 4.4.2 Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena

Zatěžovací zkouška bočního ramena se připravila podle obrázku č. 41, samotný proces zatěžování se provedl podle zatěžovacího diagramu na obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 18 °C.



Obr. 40 – Zatěžovací diagram zkoušky únosnosti bočního a středního ramena



Obr. 41: Pracoviště zatěžovací zkoušky bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Vizuální kontrola bočního ramena při maximálním provozním zatížení  $F_v=9$  kN, nevykázala v okolí svarových spojů žádné praskliny ani trhliny. Na profilech konzoly nevzniklo žádné boulení stěn ani viditelný ohyb ramena. Dále se kontrolovalo usmýknutí třmenové objímky na hlavě betonového sloupu, které se neprojevovalo.



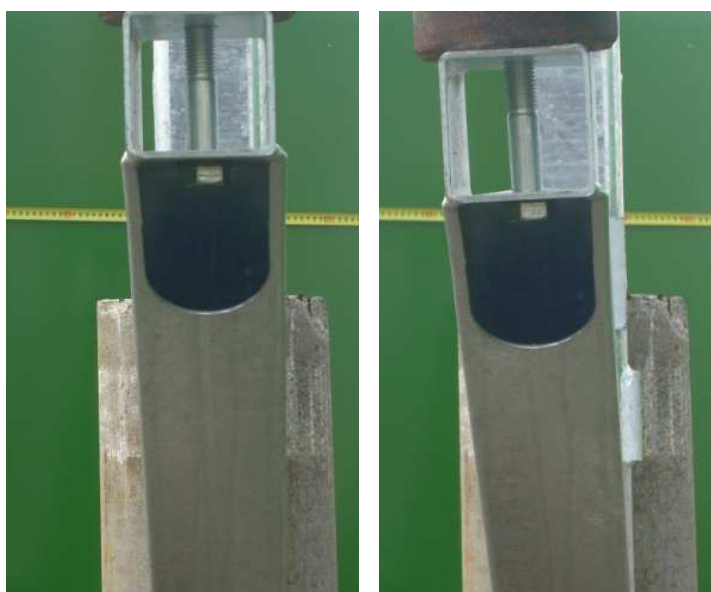
Boční rameno se proto zatížilo na hodnotu  $F_v=11$  kN (nenastaly viditelné deformace) a po odlehčení až na  $F_v=13$  kN. Při zatížení  $F_v=13$  kN se viditelně začala odlupovat vrstva zinkového povlaku v okolí svarových spojů. Opěrné desky se silně zařízly do betonového sloupu. U bočního ramena došlo k viditelnému ohybu profilů. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN se rameno nevrátilo do původní polohy, proběhly nepřijatelné trvalé deformace. Mez únosnosti nastala při zatížení v rozsahu od 12 do 13 kN, uvažovat se bude spodní hranice.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{v\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

V normě ČSN 73 2030 se požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP}=1,3$ , pokud se konstrukce deformuje jinak, platí  $\gamma_{EXP}=1,5$ . Jediný viditelný následek napjatosti byl ohyb profilů bočního ramena, proto platí  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení.

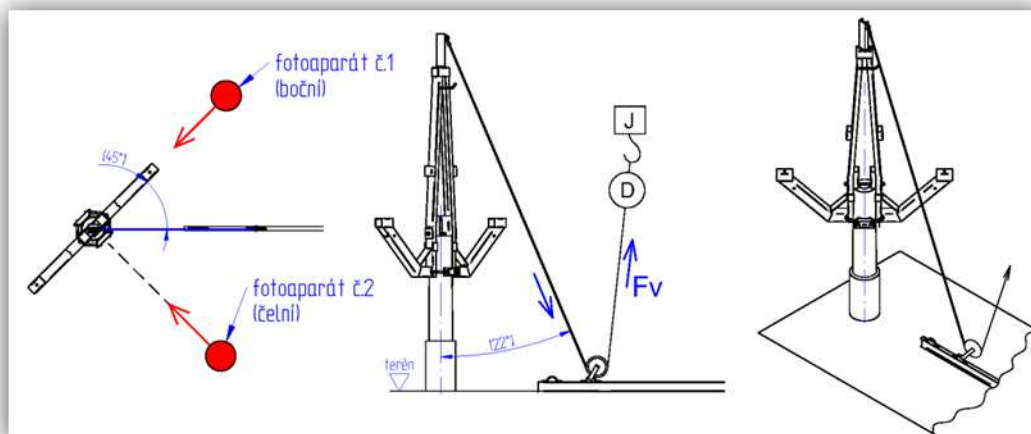
Na obrázku č. 42 je zachyceno přetvoření bočního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti. Měření velikosti maximálního prostorového přetvoření se pro obtížnost neprovedlo, navíc se mírně naklonil i samotný zkušební sloup, který nebyl dokonale ukotven v základové patce.



Obr. 42: Přetvoření bočního ramena: vlevo – při  $F_v=9$  kN, vpravo – při  $F_v=13$  kN

#### 4.4.3 Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena

Zatěžovací zkouška středního ramena se připravila podle obrázku č. 43, proces zatěžování se provedl podle stejného zatěžovacího diagramu jako u bočního ramena podle obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 19 °C.



Obr. 43: Pracoviště zatěžovací zkoušky středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

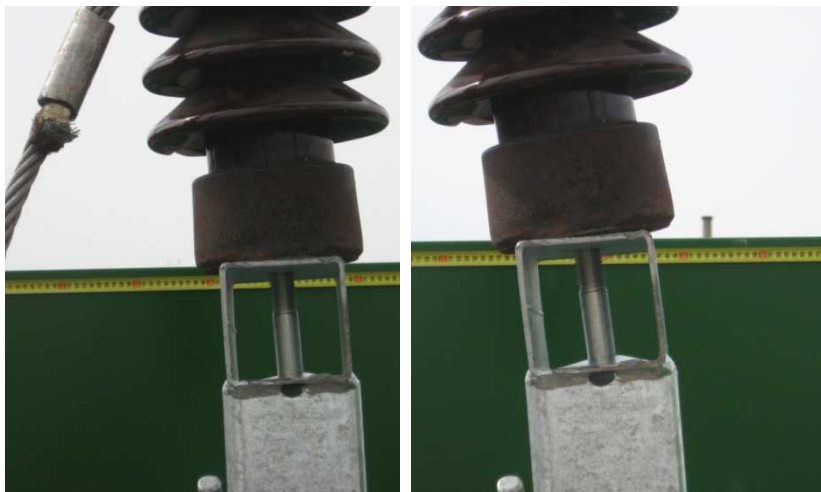
Na středním rameni nevznikly při zatížení  $F_v=13$  kN žádné viditelné trvalé deformace. Konzola se ovšem začala mezi hodnotami zatížení 13 a 14 kN usmýkat na betonovém sloupu. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN, konzola vykázala drobný ohyb profilů středového ramena. Bude se proto uvažovat mez únosnosti při zatížení o velikosti 13 kN.

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N.

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Střední rameno splňuje požadovanou minimální spolehlivost zkoušení  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Na obrázku č. 44 je zachyceno přetvoření středního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti.





Obr. 44: Přetvoření středního ramena: vlevo – při  $F_v=9\text{kN}$ , vpravo – při  $F_v=14\text{kN}$

## 5 Vyhodnocení výsledků

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Následně se stanovily hodnoty návrhové únosnosti použitého materiálu a provedla se pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation. Poté se vyrobil reálný prototyp konzoly, na kterém proběhla zatěžovací zkouška únosnosti. Výsledky těchto úkonů byly vyhodnoceny v následujících kapitolách.

### 5.1 Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy

Na výpočtovém modelu bylo provedeno osm pevnostních analýz, viz tabulka č. 12. Nejdůležitější jsou však výsledky napětí analýzy A-03, ve které se konzola zatížila maximálním provozním zatížením všemi třemi vodiči najednou ( $F_1=F_2=3\text{kN}$  a  $F_3=7\text{kN}$ ).

Analýza napětí v A-03 odhalila na ostrých přechodech mezi geometrií některých dílů konzoly miniaturní oblasti s vysokou koncentrací napětí. Tyto nežádoucí oblasti se nazývají vruby a ve svařovaných ocelových konstrukcích tohoto typu jsou nevyhnutelné.

Vypočtené napětí, které se koncentruje na ostrých přechodech geometrie, je třeba brát pouze jako informativní (teoretické), ale nejsme schopni říct o kolik je nadhodnoceno [10]. Jak se vruby projeví na reálné konstrukci, ukáže zatěžovací zkouška únosnosti reálného prototypu

Tab. 12 – Souhrn výsledků pevnostních analýz v Solid Edge Simulation

| č. zkoušky                                        | A-01  | A-02  | A-03  | A-04 | A-05 | A-06 | A-07 | A-08 |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(v centrech vrubů) | 774   | 338   | 615   | /    | /    | /    | 615  | 615  |
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(mimo vruby)       | 195   | 145   | 195   | 27,1 | 181  | 13,2 | 195  | 195  |
| Posunutí (přetvoření) [mm]                        | 12,70 | 17,40 | 17,40 | 0,33 | 1,12 | 0,09 | 17,7 | 17,4 |

Pomine-li se v analýze A-03 výskyt vrubů, bylo naměřeno v materiálu konzoly maximální napětí  $\sigma_{\max}=195\text{ MPa}$ .

Pro základní materiál S235JR musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{\max} \leq R_d$  (3.9).

Tato podmínka je splněna ( $\sigma_{\max} = 195\text{ MPa} \leq 235\text{ MPa}$ ).

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{max} \leq f_{vw,d}$  (3.11). Tato podmínka je rovněž splněna ( $\sigma_{max} = 195 \text{ MPa} \leq 207 \text{ MPa}$ ).

## 5.2 Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti

Provedení zatěžovací zkoušky únosnosti všemi třemi vodiči najednou nebylo umožněno, kvůli nedostatečnému vybavení zkušebny společnosti ES. Zkoušky únosnosti se proto rozdělily dvě etapy, v první se zatížilo boční rameno a ve druhé rameno střední. Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil viz kapitola 4.4.1.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,46$ .

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Střední rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,58$ .

Výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti potvrdily výsledky pevnostních analýz. Konstrukce se ve vrubech ve skutečnosti nedeformovala i přesto, že pevnostní analýza označila tyto místa za nevyhovující, protože se v nich překročila stanovená návrhová únosnost materiálu. Naopak daleko dříve se začala konzola trvale deformovat v okolí těchto vrubů.

### **5.3 Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N**

Konzola PAŘÁT-III-JB-N vyhovuje všem zákonnými, konstrukčním i pevnostním požadavkům. Únosnost konzoly je dimenzována na maximální provozní zatížení, které je cca 1,5x větší, než zatížení které může v provozu nastat. V praxi se navíc ukázalo, že maximální provozní zatížení je pouze ojedinělý jev.

Konzola PAŘÁT-III-JB-N podle pověřené agentury AOPK snížila riziko úhynu volně žijícího ptactva na minimální úroveň, viz odborná stanoviska v přílohách č. 25 až 27. Tím se stala jedinou takto klasifikovanou konzolou v ČR.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její únosnost. Únosnost konzoly se ověřila jak pevnostní analýzou v softwaru Solid Edge Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly podle všech stanovených požadavků, na kterém se zrealizovala pevnostní analýza Simulation a zatěžovací zkouška únosnosti. Konzola PAŘÁT-III-JB-N pevnostně vyhověla u obou metod, ovšem pro komplexní posouzení funkčnosti nelze jednu před druhou upřednostnit.

Pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation, rychle a objektivně posoudila napjatost a deformaci uvnitř materiálu. Při zjednodušení výpočtového modelu a jejich vazeb s betonovým sloupem zase nepřesně vyhodnotila reálné chování konzoly na betonovém sloupu a označila ostré přechody mezi jednotlivými díly za pevnostně nevyhovující, což může vyvolat řadu spekulací.

Zatěžovací zkouška únosnosti naopak kvalitně posoudila reálné chování konstrukce na betonovém sloupu, ale bez speciálních tenzometrických měřících zařízení neumožnila vyhodnotit napjatost uvnitř materiálu.

Při vhodné kombinaci těchto dvou nástrojů se může výrazně zkrátit čas určený pro návrh, stejně tak lze zamezit opakované výrobě nevyhovujících prototypů a v neposlední řadě lze optimalizovat sílu zvoleného materiálu. Tím lze ušetřit nemalé finanční prostředky a zvýšit kvalitu výrobku. Vzhledem k tomu, že tato pevnostní analýza je první bezprecedentní zkušeností společnosti ES s analytickým posuzováním únosnosti výrobku, bude se tato metoda ve firemním prostředí neustále rozvíjet a zdokonalovat.

Myšlenka provádět v budoucnosti kontrolu únosnosti konzol pouze analyticky v softwaru Solid Edge - Simulation není v tuto chvíli možná, protože společnost ES neumí správně vyhodnotit vlastnosti vyskytlých vrubů, kde dochází k vysoké koncentraci napětí a také nedokáže analyticky vyjádřit kontakty mezi ocelovými profily a betonovým konickým sloupem, což může být podnětem pro další zkoumání.

# Seznam literatury a internetových stránek

- [1] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. Brno: EGÚ Brno, a.s., 2008.
- [2] MENTL, V.; VLK, M.; ROTTER, T.; BARTÁK, J.: *Konstrukce a provedení*. Plzeň: 2011.
- [3] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN 73 2030. *Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí: Společná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] *Energetika servis s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2013-03-04].  
Dostupné z: <http://www.energetika-servis.cz/>
- [8] *AXIOM TECH* [online]. [cit. 2013-05-10].  
Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/>
- [9] *TVP group s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20].  
Dostupné z: <http://www.tpvgroup.cz/>
- [10] CAD III Pevnostní analýzy, Zdeněk konečný, Václav Krys, Ostrava 2007  
KONEČNÝ, Zdeněk a Václav KRYŠ. *CAD III - Pevnostní analýzy*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1513-8.
- [11] *Miniencyklopedie Elektřina*. [online]. 2003 [cit. 2013-10-04].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [12] *Technické normy společnosti E.ON ČR s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-01-04].  
Dostupné z: <http://ti.eon.cz/cs/normy/>

# Seznam příloh

Příloha č. 01 – Výkres č. 803-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.

Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB

Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru

Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava

Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB

Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.

Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P

Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky

Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska

Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemnicí pásek

Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pás

Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena

Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90

Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB

Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115

Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Těleso objímky JB

Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

Příloha č. 21 – Atest přídavného materiálu pro svařování

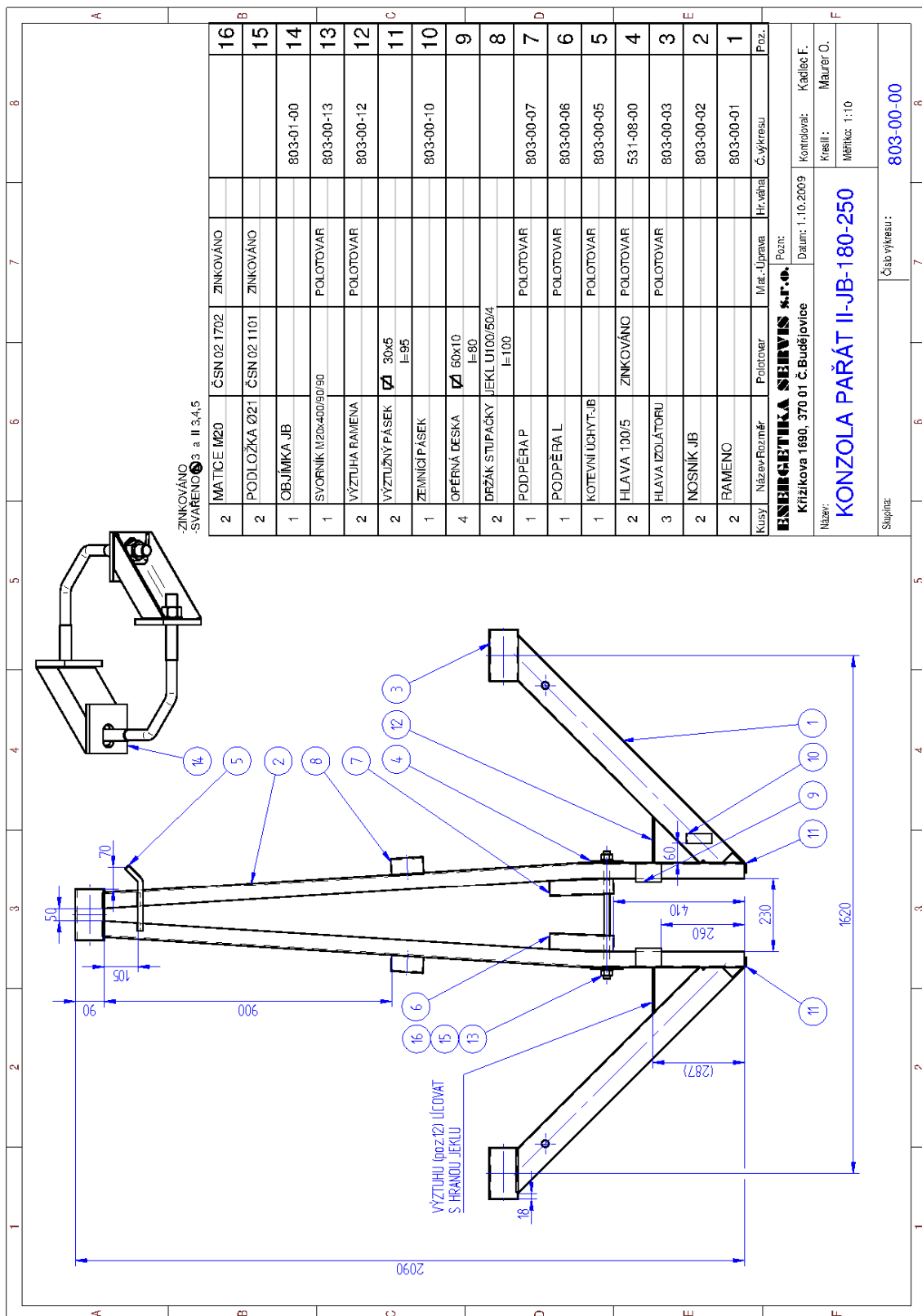
Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

Příloha č. 23 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.1/3

Příloha č. 24 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.2/3

Příloha č. 25 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.3/3

Příloha č. 01 – Výkres sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

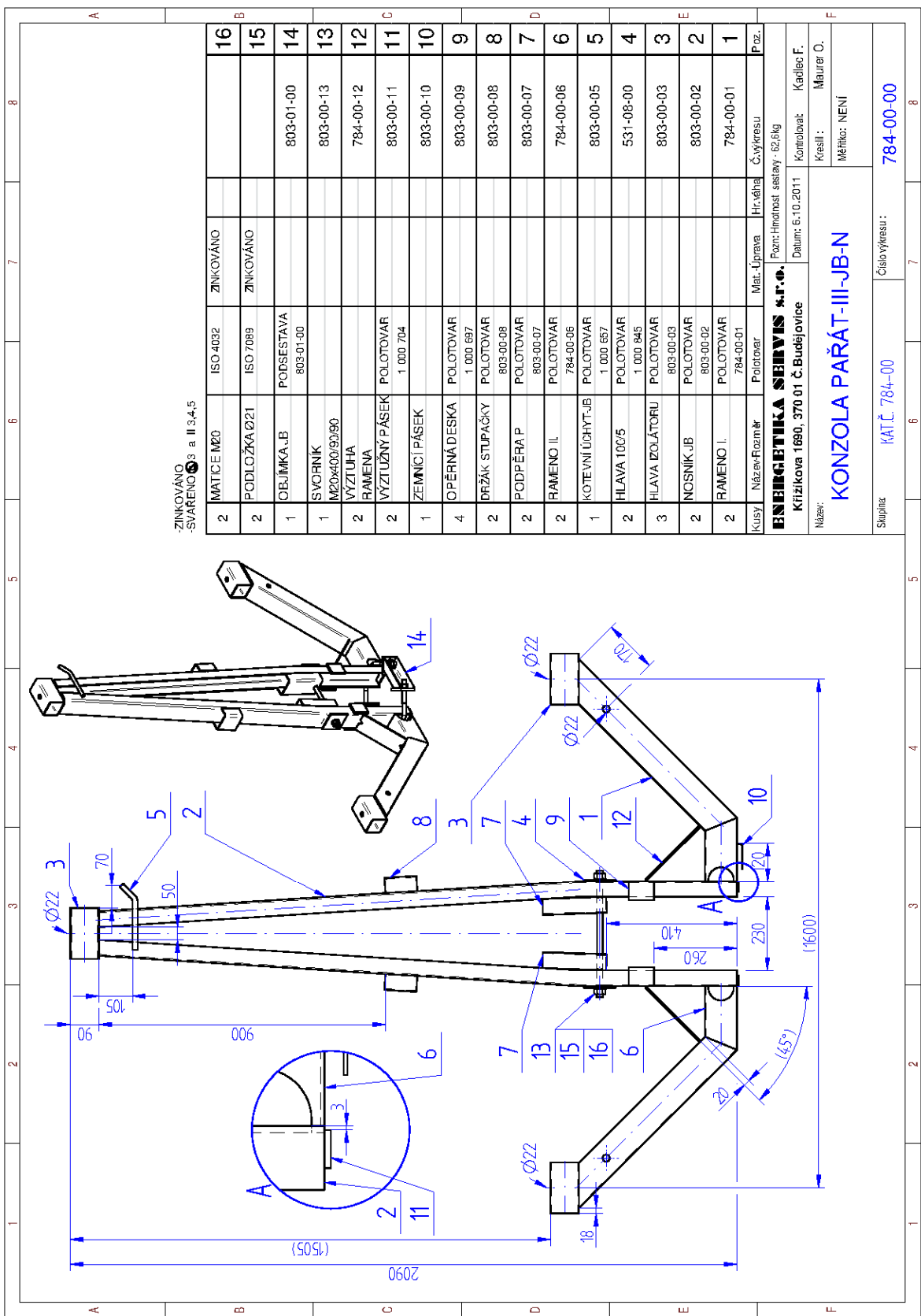




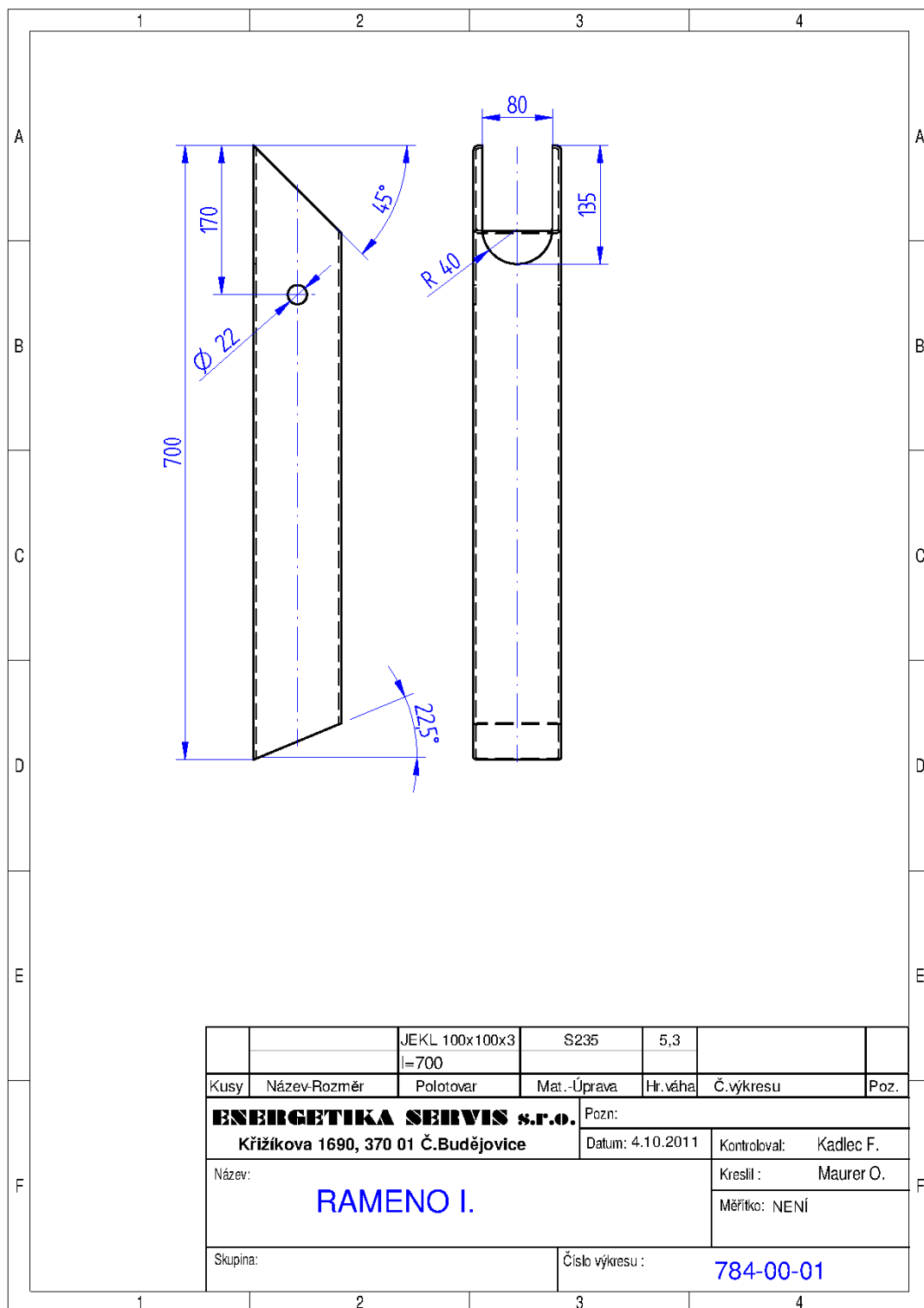
Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

| Název dílu      | Polotovar                                     | Materiál | č. výkresu | Hmotnost | Počet ks v sestavě |
|-----------------|-----------------------------------------------|----------|------------|----------|--------------------|
| Rameno          | Profil TR 4HR100x100x3-1000<br>ČSN EN 10210-2 | S235 JRH | 803-00-01  | 8,1      | 2                  |
| Nosník JB       | Profil U 100x50x5-2000<br>ČSN 42 6963         |          | 803-00-02  | 14,3     | 2                  |
| Hlava izolátoru | Profil TR 4HR 90x90x5-1000<br>ČSN EN 10210-2  |          | 803-00-03  | 1,7      | 2                  |
| Hlava           | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 531-08-00  | 0,38     | 2                  |
| Kotev. úchyt JB | Tyč Ø16-220<br>ČSN 42 5510                    |          | 803-00-05  | 0,4      | 1                  |
| Podpěra L       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-06  | 1,3      | 1                  |
| Podpěra P       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-07  | 1,3      | 1                  |
| Držák stupačky  | Profil U 100x50x4-100<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-08  | 0,59     | 2                  |
| Opěrná deska    | Tyč PLO 60x10-80<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-00-09  | 0,38     | 4                  |
| Zemníčí pásek   | Plech P 3 – 30x100<br>ČSN 42 5310             |          | 803-00-10  | 0,1      | 1                  |
| Výztužný pásek  | Tyč PLO 30x5-95<br>ČSN 42 5340.01             |          | 803-00-11  | 0,1      | 2                  |
| Výztuha ramena  | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 803-00-12  | 0,55     | 2                  |
| Tělo objímky    | Profil U80-380<br>ČSN 42 5570                 |          | 803-01-02  | 1,9      | 2                  |
| Bok objímky     | Tyč PLO 80x10-85<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-01-02  | 0,5      | 4                  |

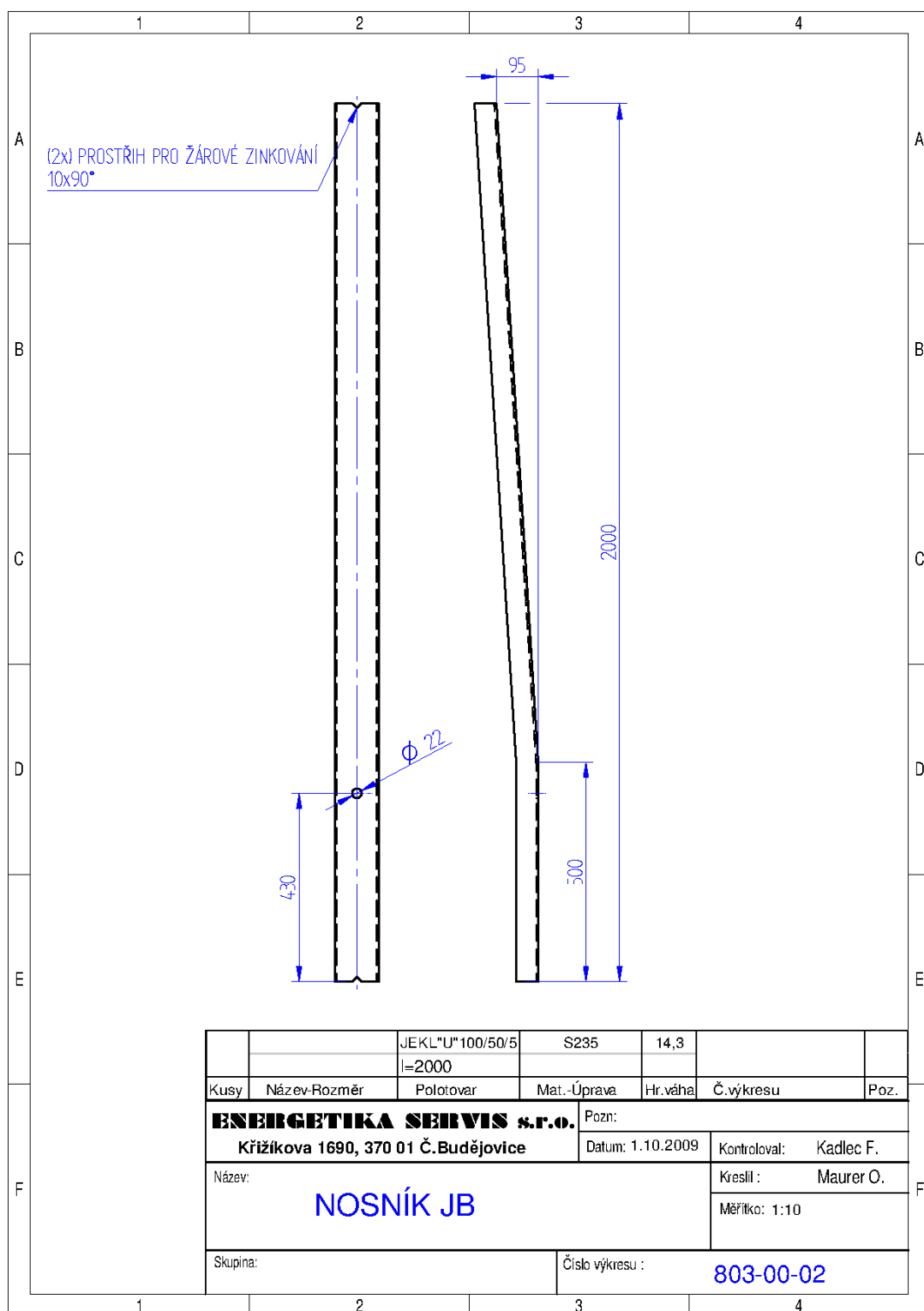
Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N



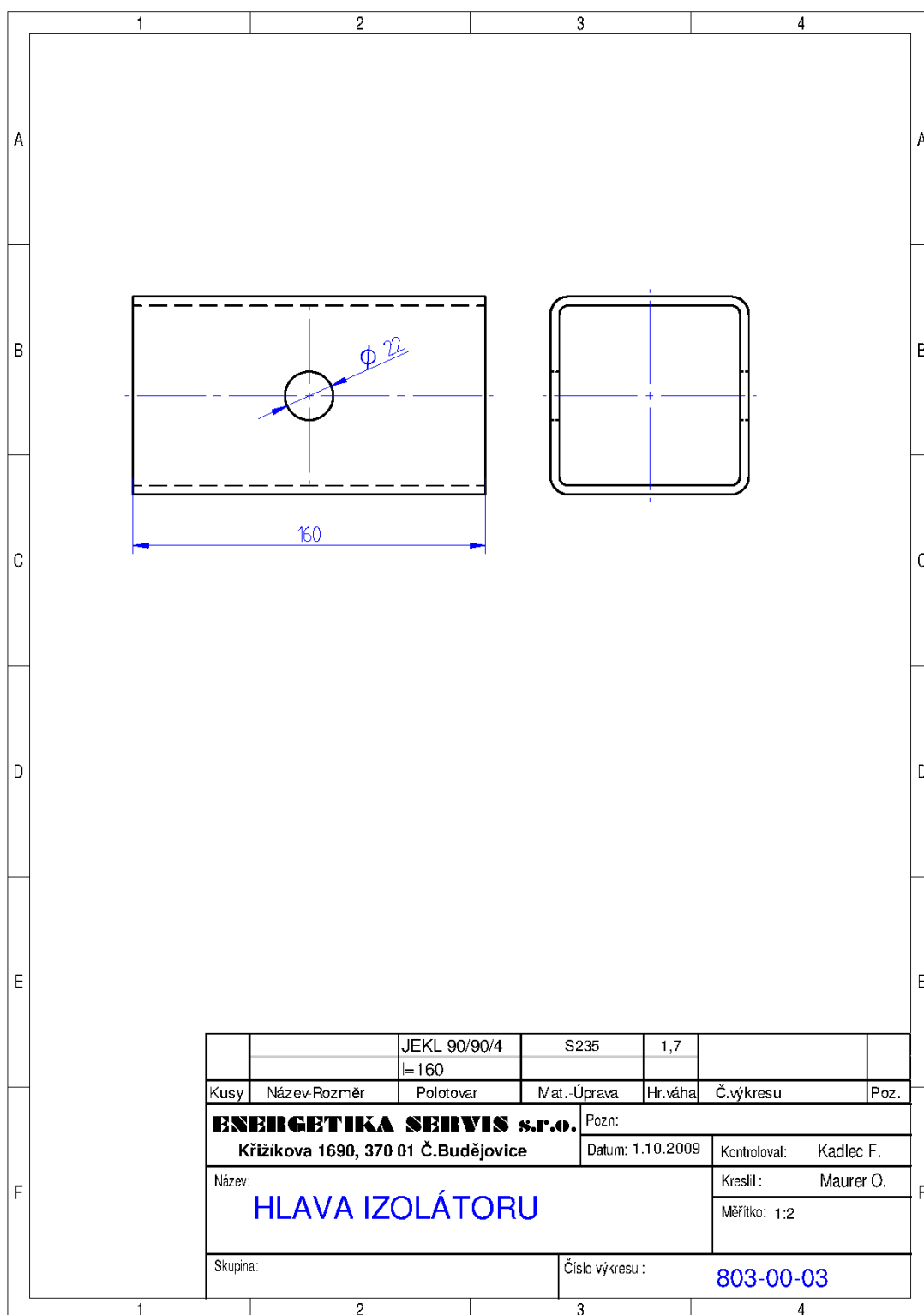
Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.



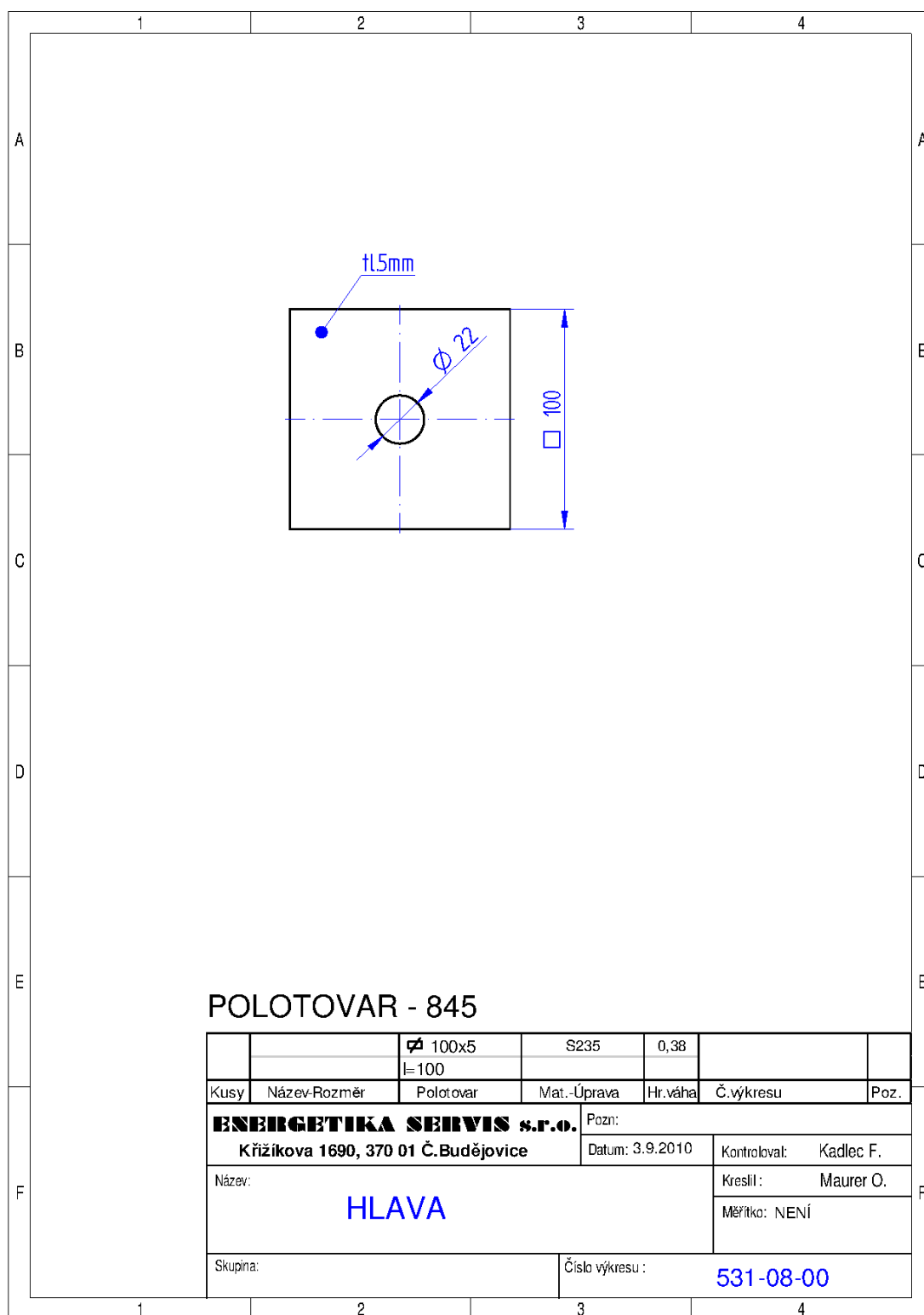
Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB



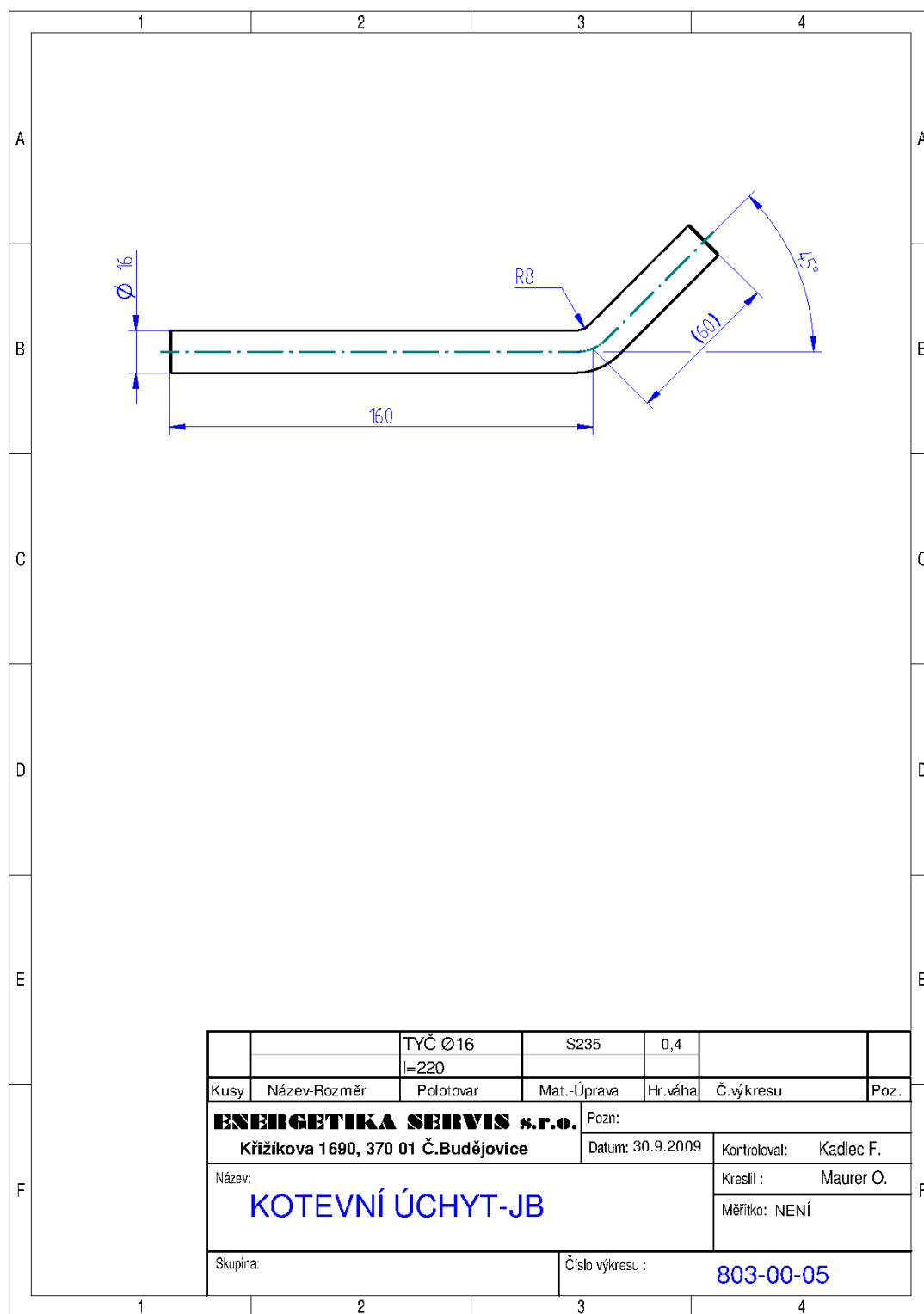
Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru



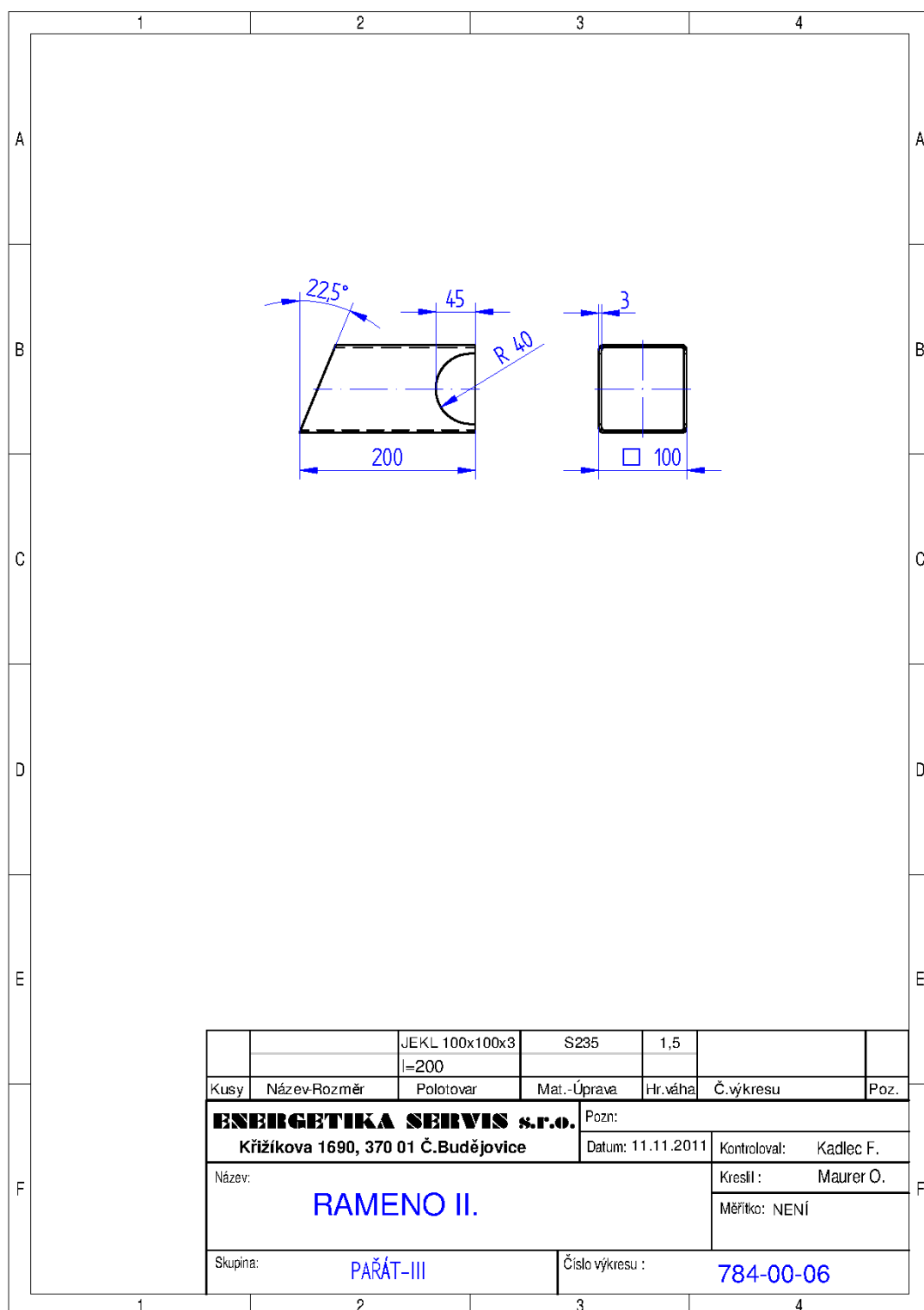
Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava



Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB

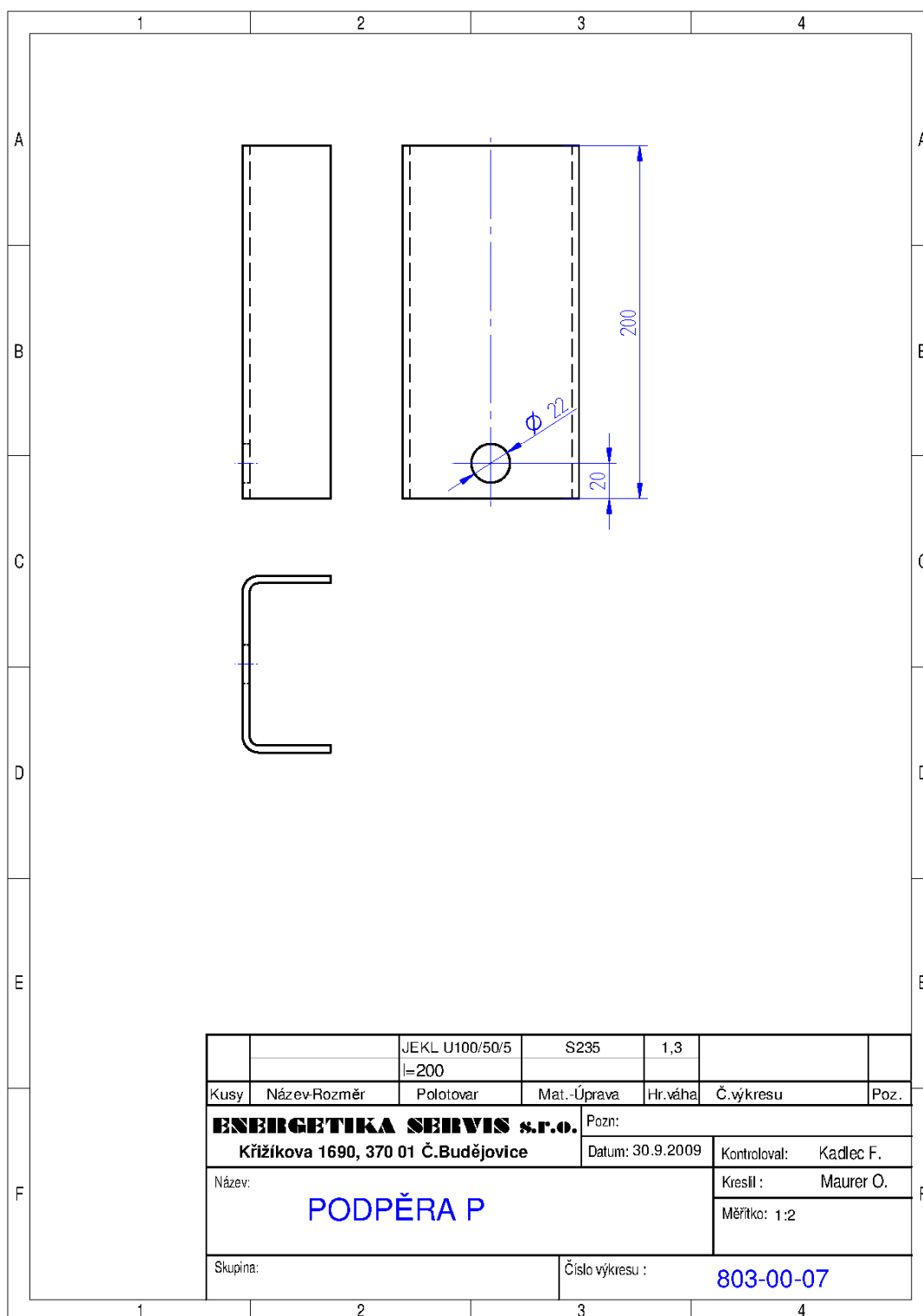


Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.

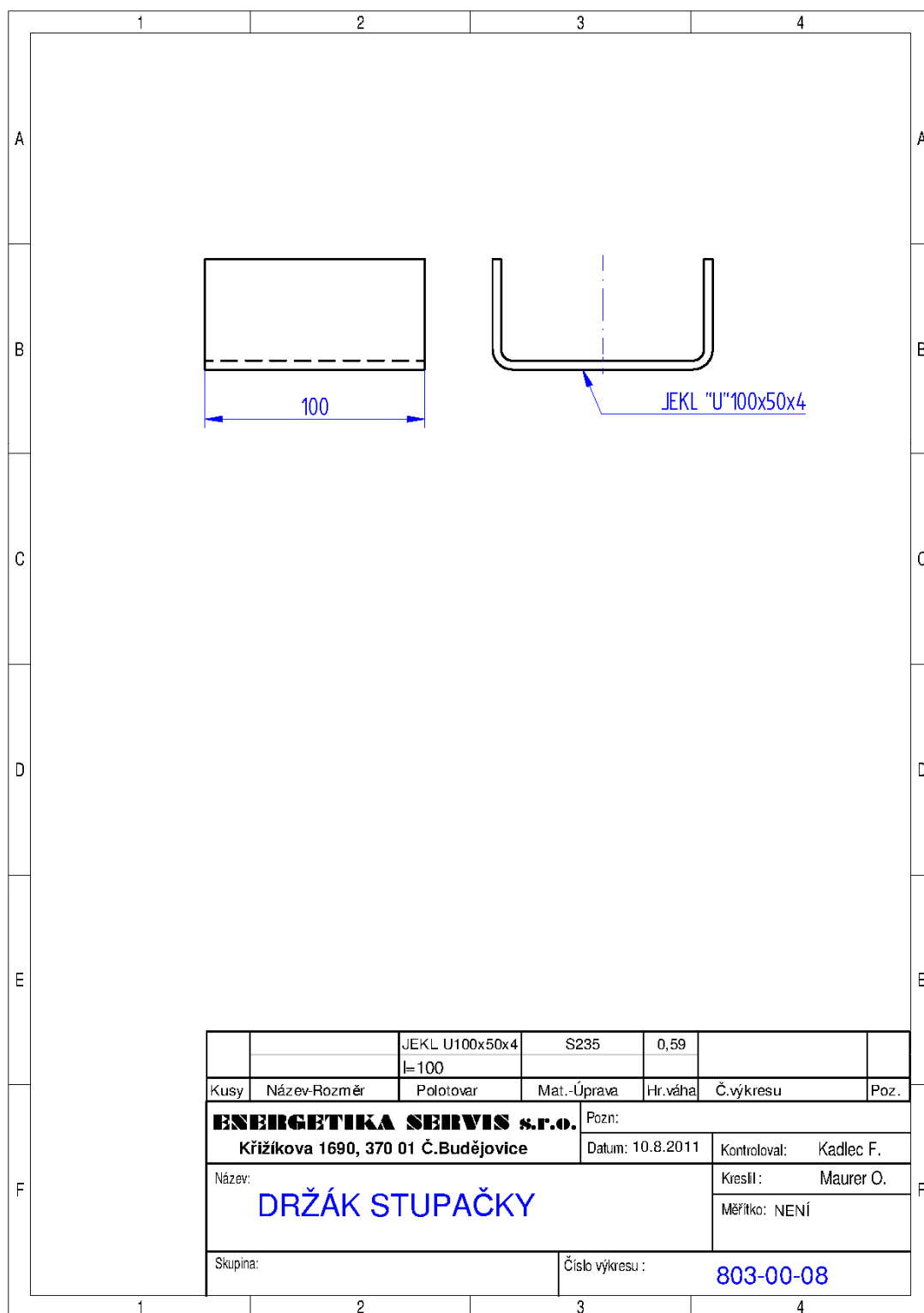




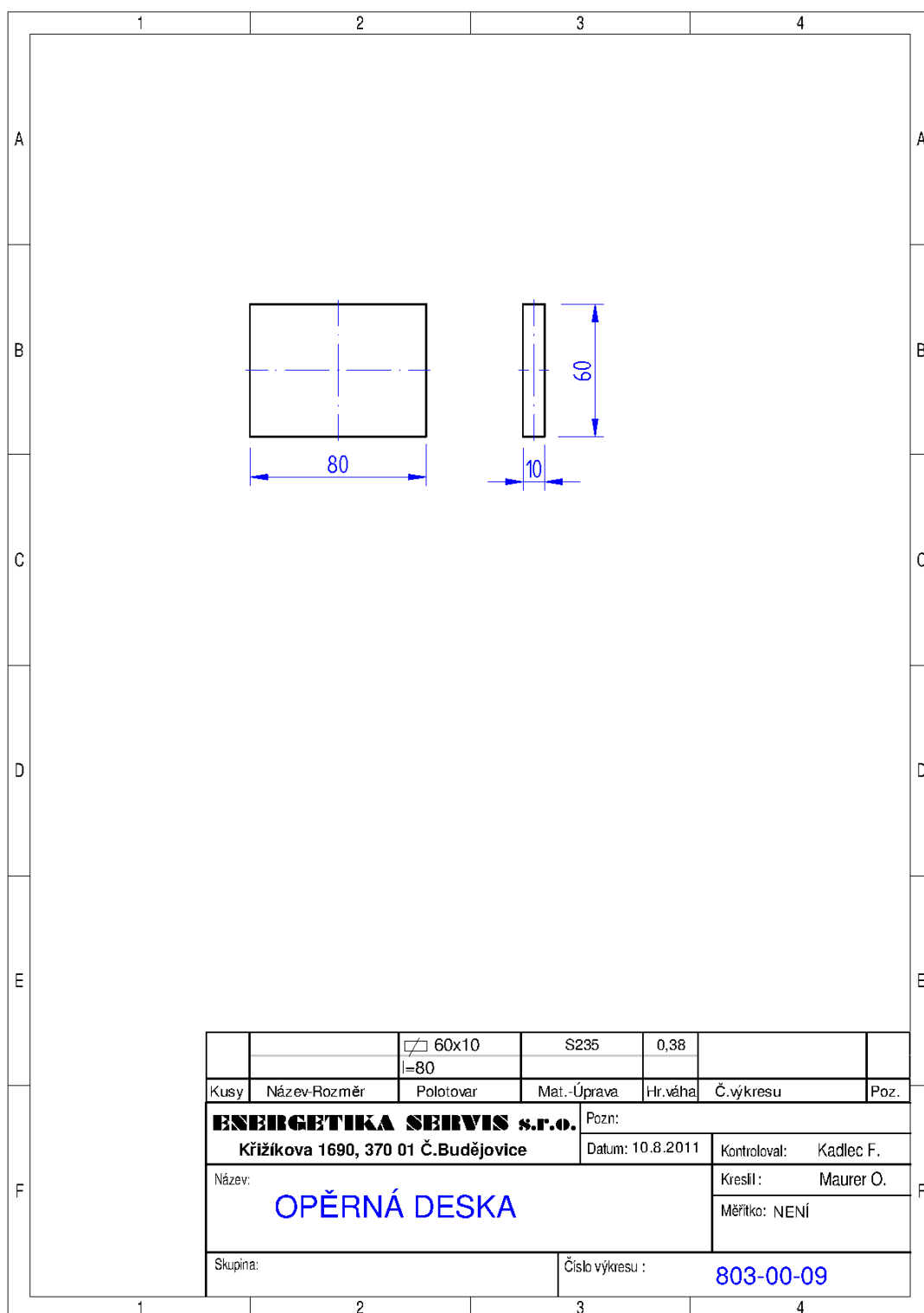
Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P



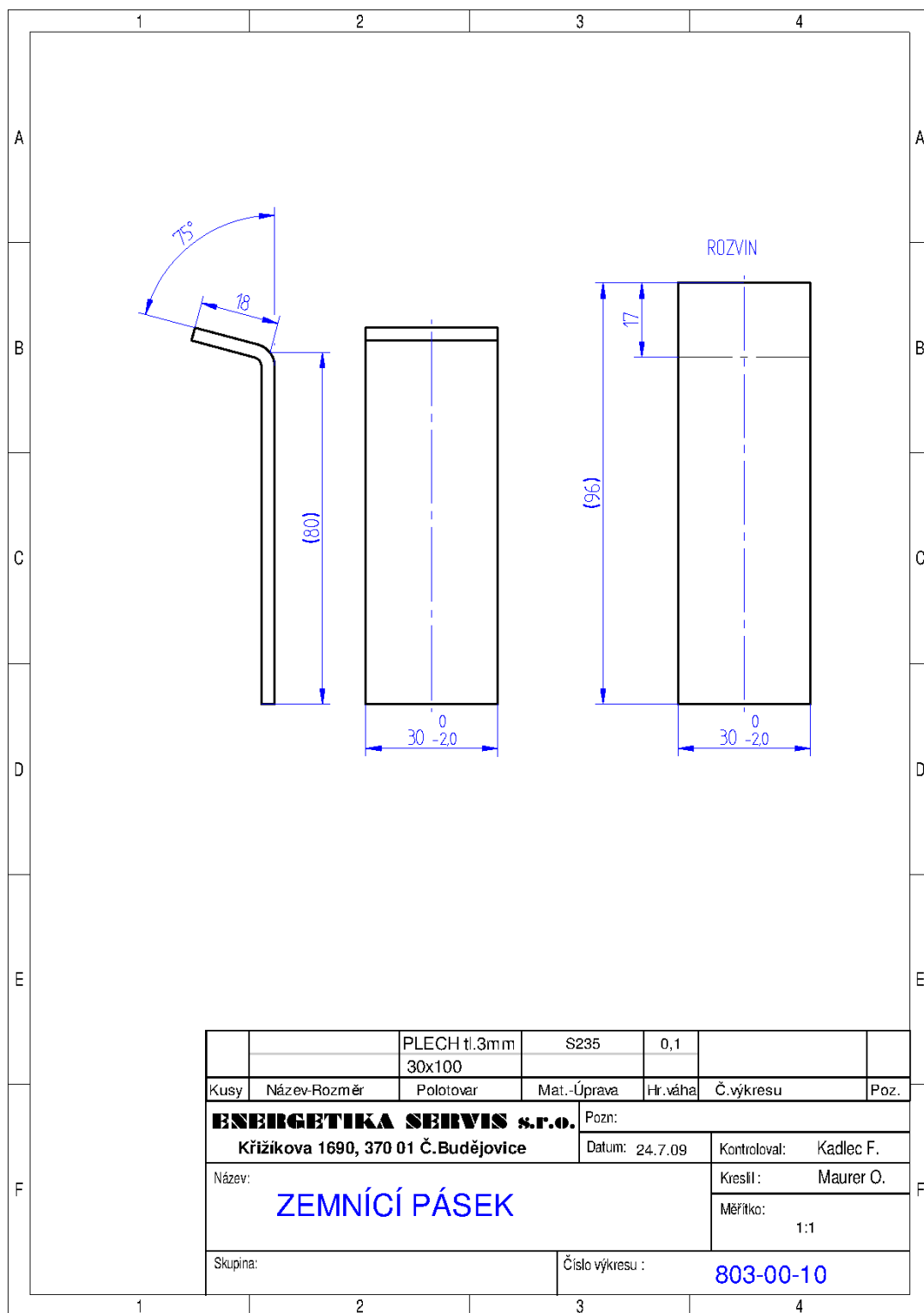
Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky



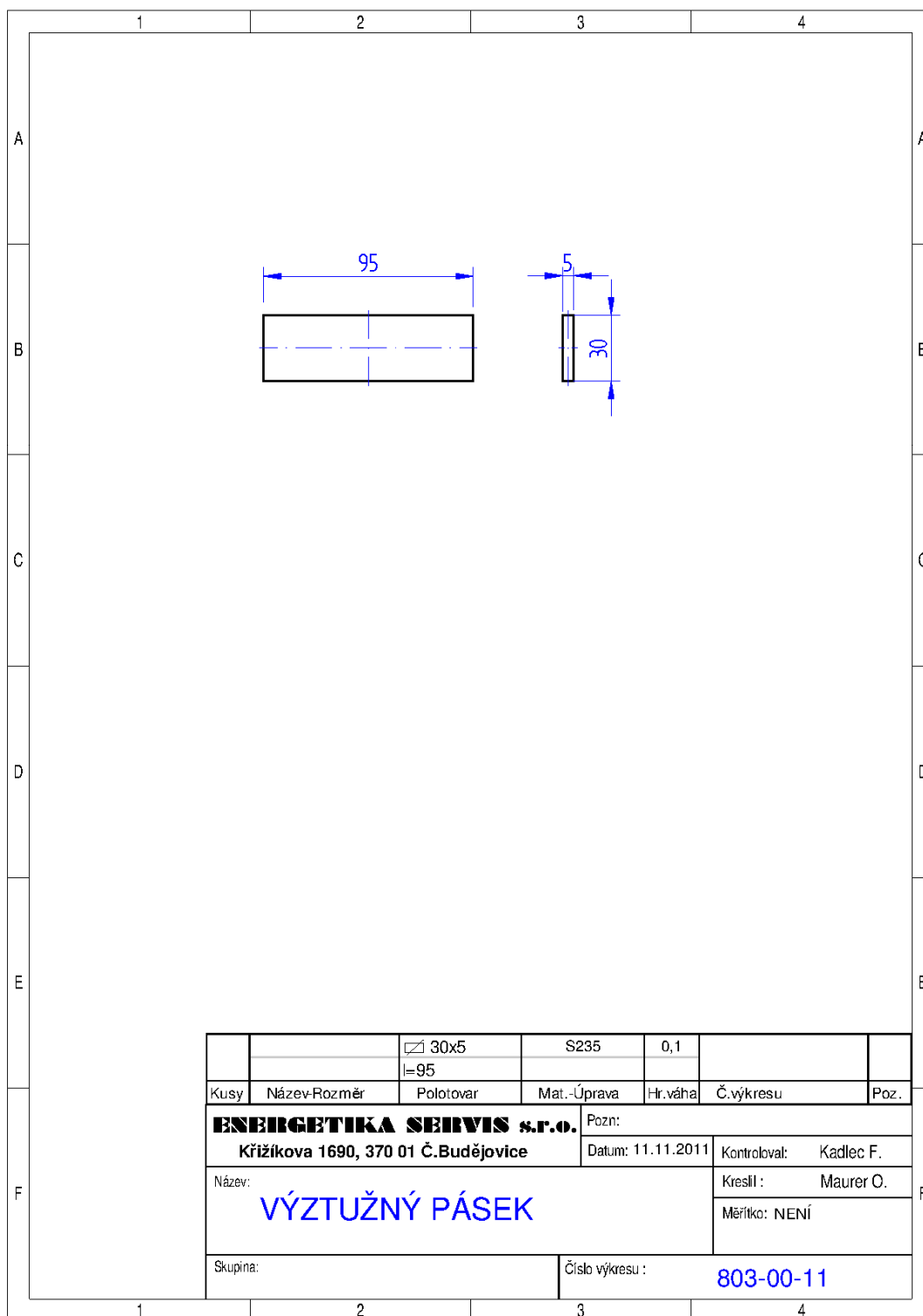
Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska



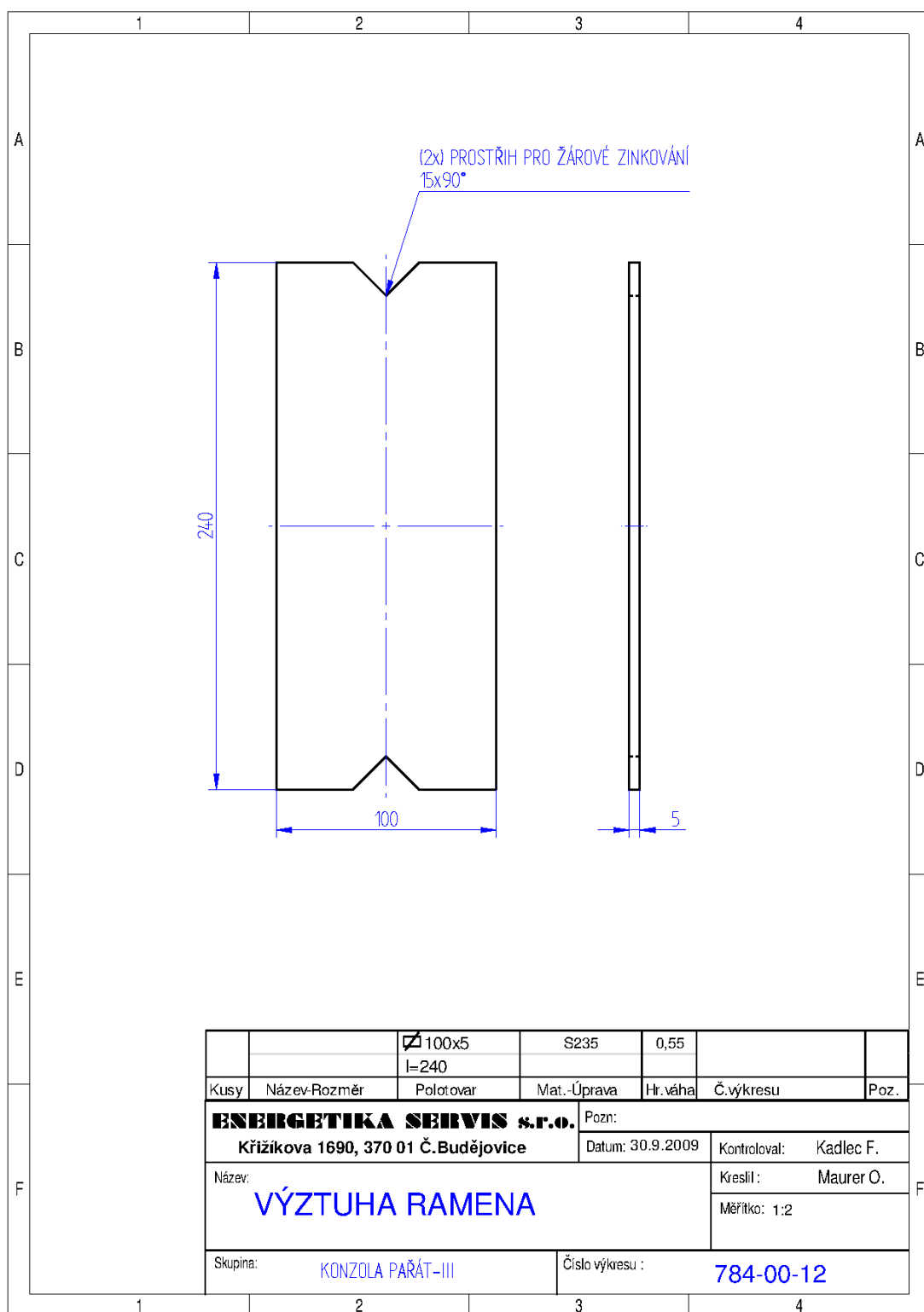
Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemní pásek



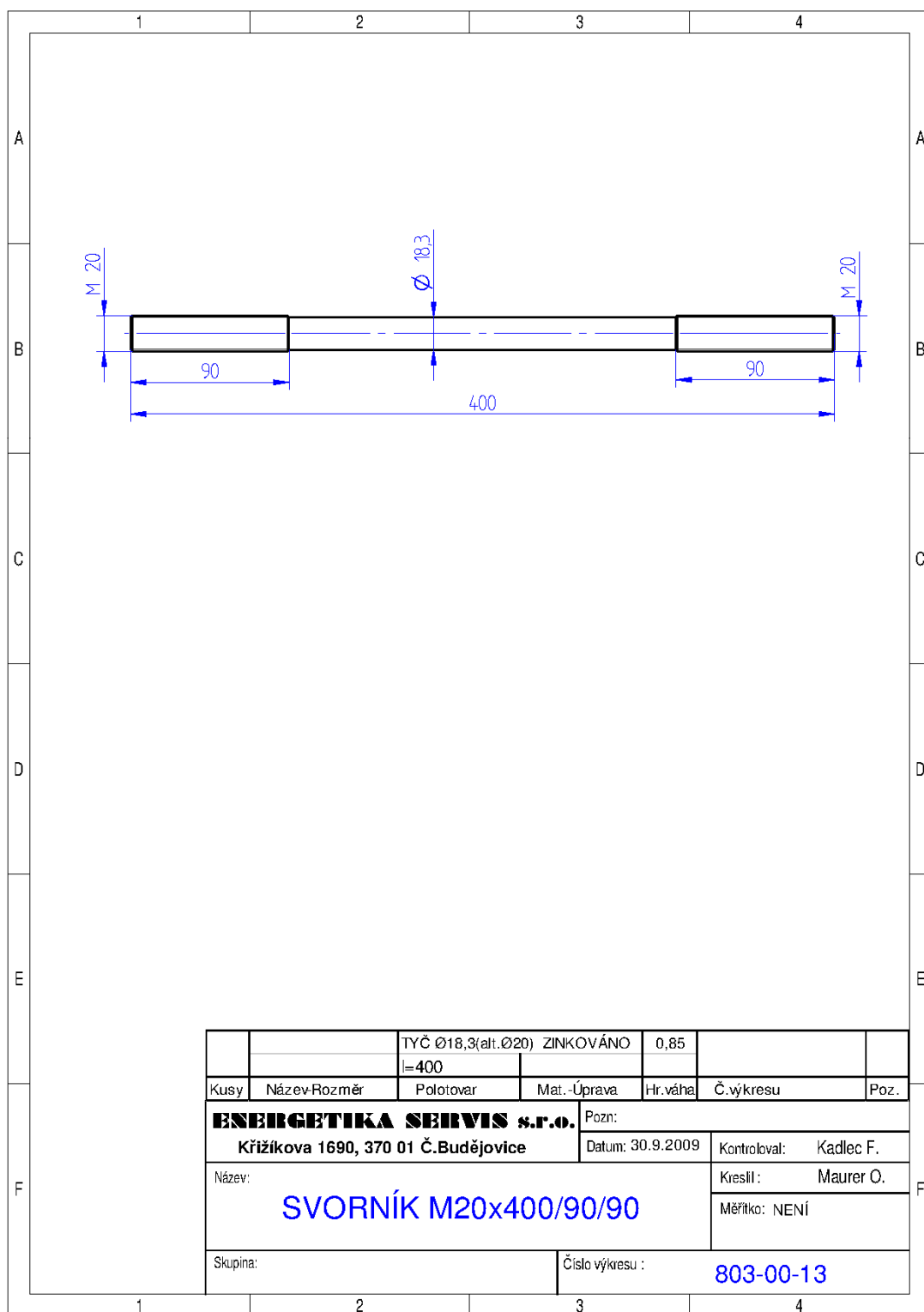
Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pásek



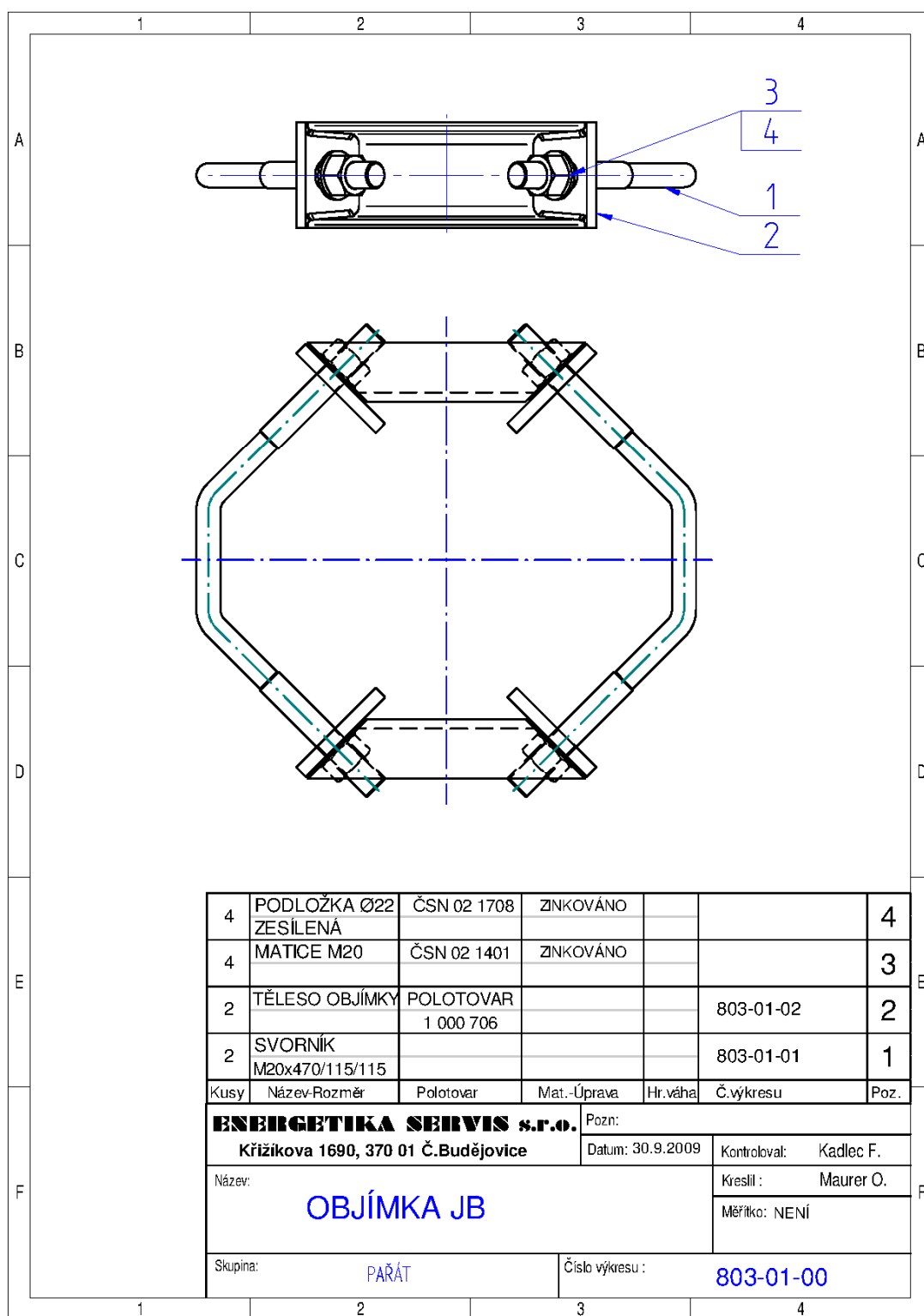
Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena



Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90

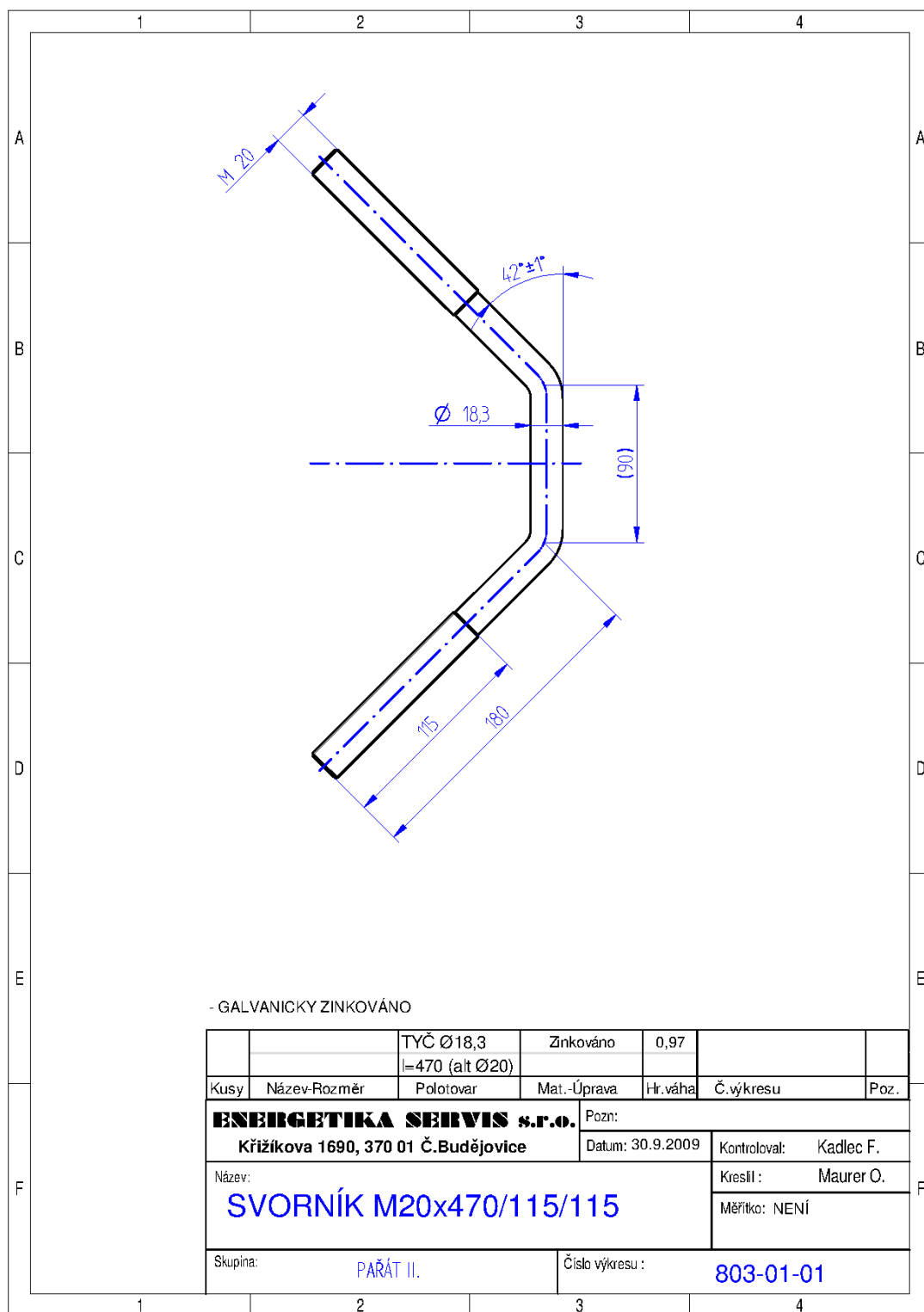


Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB

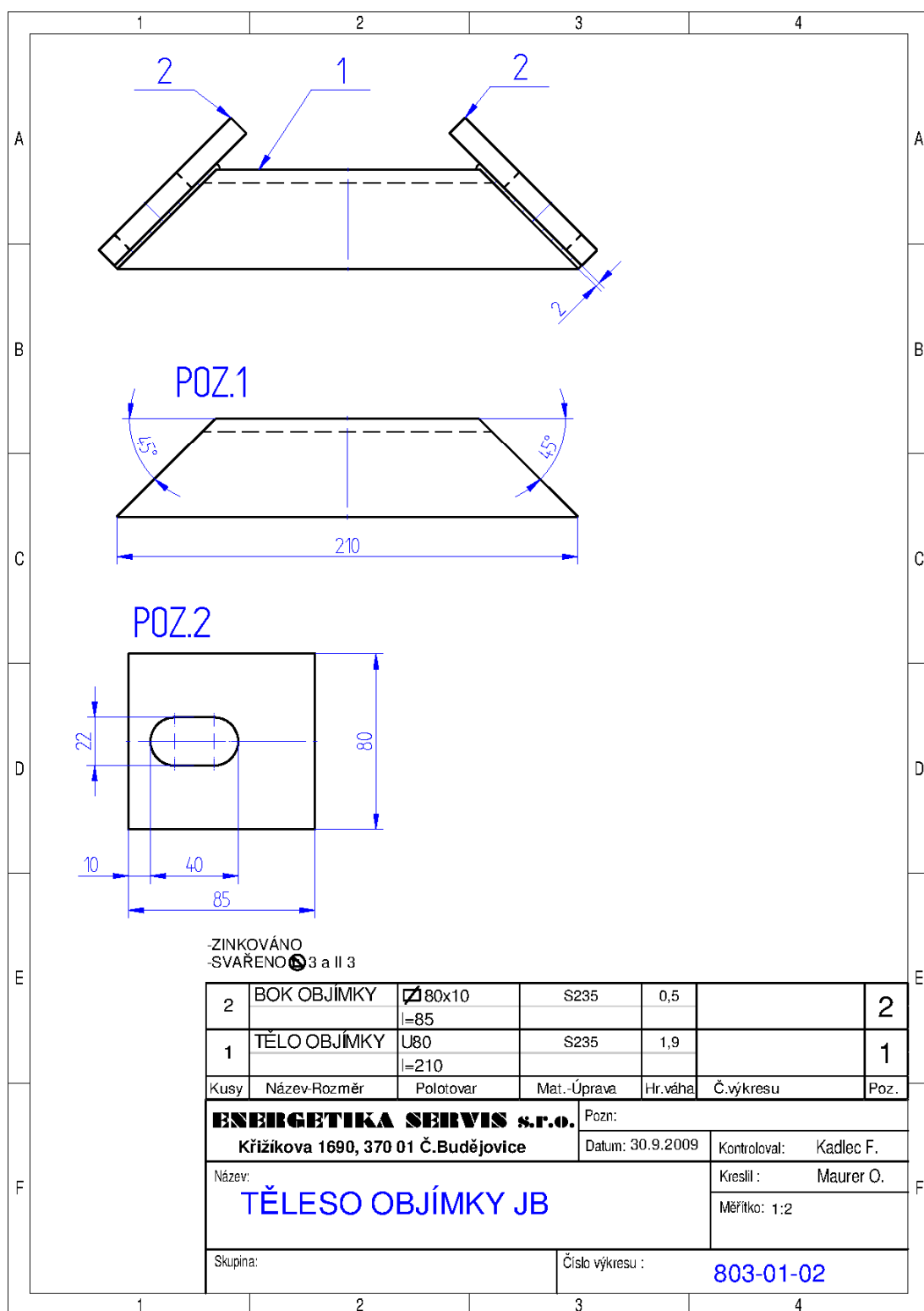




Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115



Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Tělo objímky JB



## Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

### ES CERTIFIKÁT SYSTÉMU ŘÍZENÍ VÝROBY

č. 1020 – CPD – 020-025934

V souladu se směrnicí Rady 89/106/EHS ze dne 21. prosince 1989 o sblížení zákonů a dalších právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích - CPD), ve znění pozdějších předpisů Rady Evropských společenství, se potvrzuje, že stavební výrobek:

**Konstrukční kovové stavební díly do třídy provedení EXC-2**  
v rozsahu: Výroba a dílenská montáž ocelových konstrukcí  
Přehled použitých metod svařování (dle ČSN EN ISO 4063): 135  
Skupina(y) základních materiálů (dle TNI CEN ISO/TR 15608): 1.2  
Odpovědní pracovníci svářečského dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002

kteřé uvedl na trh:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

a byly vyrobeny ve výrobě:  
**Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice**

Jsou u výrobce podrobovány počátečním zkouškám typu výrobku a řízení výroby a dále zkouškám vzorků odebraným v místě výroby podle předepsaného zkušebního plánu a že notifikovaná osoba č.

**1020 - Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.**  
provedla počáteční inspekci v místě výroby a systému řízení výroby a vykonává průběžný dohled, posuzování a schvalování systému řízení výroby.  
Tento certifikát prokazuje, že byla uplatněna všechna ustanovení týkající se posuzování systému řízení výroby popsaného v příloze Za normy

**EN 1090-1**

Tento certifikát byl poprvé vydán 02.05.2011 a zůstává v platnosti, pokud se podmínky stanovené v harmonizované technické specifikaci, na niž byl uveden odkaz, nebo výrobní podmínky v místě výroby či systém řízení výroby výrazně nezmění.

 Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucího notifikované osoby

České Budějovice, 2. května 2011

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

Certifikační orgán č. 3015 akreditovaný ČIA podle ČSN EN 45011  
osvědčení o akreditaci č. 573/2009  
Pobočka 0200 – České Budějovice  
vydává

### CERTIFIKÁT

č. 020-025937

kterým osvědčuje, že organizace:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690  
37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

zavedla a používá proces svařování, který odpovídá  
**ČSN EN ISO 3834-2**  
v následujícím rozsahu:

**Ocelové konstrukce - konzoly**

Proces(y) svařování a příbuzné procesy: 135  
dle ČSN EN ISO 4063  
Skupina(y) základních materiálů: 1.1, 1.2  
dle TNI CEN ISO/TR 15608  
Odpovědní pracovníci svářečského dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002  
Výrobové normy: ČSN EN 1090-2, ČSN EN ISO 3834-1.2  
ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817,  
ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Dokumenty mající vztah na shodu s ČSN EN ISO 3834-2: ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817, ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace procesu svařování č. 020-025936 ze dne 17.05.2011 vydaného TZÚS Praha, s. p. - pobočkou České Budějovice, který se předává zadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu.

Platnost certifikátu do: 17.05.2014

Osoba odpovědná za správnost tohoto certifikátu:

 Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucí certifikačního orgánu

České Budějovice, 17.05.2011

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 1807/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém managementu kvality v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 9001:2009**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

 S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 573/2009 ze dne 24.07.2009

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 302/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém environmentálního managementu v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

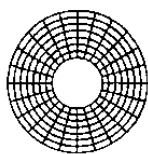
v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 14001:2005**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

 S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 317/2008 ze dne 24.07.2008

Příloha č. 21 – Atest přidavného materiálu pro svařování



**TYSWELD®**



0035  
07

**WORK'S CERTIFICATE**

0035-CPD-C907  
DIN EN 13479 + DIN EN 14341

Purchaser / Besteller :

Your order Number / Ihre Bestellnummer:  
Manufacturer/ Hersteller: Y.N.H.  
Quantity delivered/ Liefermenge: 22000 kg

**PROFI SVAR s.r.o.**

Lidická 209, 370 07 Č. Budějovice  
IČO 260 88 088 DIČ CZ26088088  
Mob.: 603 372 320, 605 144 345 (1)

**Inspection Certificate 3.1**  
**EN 10204-3.1 type 3.1 according to EN 10204:2004**  
**(3.1 B according to EN 10204:1991)**

*typ*

Number of Certificate/Zertifikat Nummer: 620811

Standard classification/ Normbezeichnung EN 14341: G38 2 C G3Si1 AWS A 5.18-93: ER70S-6 DIN:8559:SG-2

| Executive Standard/<br>Normbezeichnung | Mfg Date/<br>Eingangs/ Bestelldatum | Date of Issue/<br>Ausgangs/ Absendedatum |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| GB/T8110-1995                          | 2011.6                              | 2011.6                                   |

| Trade Mark/<br>Handelsname                  | Diameter/<br>Abmessung | Lot-/Heat No.<br>Serien-/Chargen- Nr. | Weight/<br>Gewicht |
|---------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Welding Wire/ Drahtelektrode<br>Tysweld SG2 | Ø 1.0                  | 832000                                | 32400kg            |

| Chemical Compositions of the welding wire/ Chemischer Aufbau der Schweißleitungen |                             |                                             |                     |                             |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Element/<br>Element                                                               | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat | Element/<br>Element | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat |
| C                                                                                 | 0.06-0.15                   | 0.09                                        | Cr                  | --                          | --                                          |
| Mn                                                                                | 1.40-1.85                   | 1.54                                        | Ni                  | --                          | --                                          |
| Si                                                                                | 0.80-1.15                   | 0.96                                        | Mo                  | --                          | --                                          |
| S                                                                                 | ≤0.035                      | 0.013                                       | Cu                  | ≤0.50                       | 0.24                                        |
| P                                                                                 | ≤0.025                      | 0.012                                       | V                   | --                          | --                                          |

**Inspection Certificate 2.2 according to EN 10204:2004**

| Mechanical Properties of Deposited Metal/ Mechanischer Eigentum des Niedergesetzten Metalls |                             |                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Item/<br>Einzelheit                                                                         | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches Resultat |
| Tensile Strength/ Zugfestigkeit b (MPa)                                                     | ≥500                        | 538                                      |
| Yield Strength/ Dehngrenze 0.2 (MPa)                                                        | ≥420                        | 432                                      |
| Elongation/ Dehnung A5%                                                                     | ≥22                         | 28                                       |
| Impact Value/ Einfluß-Wert AKV(J)                                                           | ≥27                         | 56                                       |
| Impact Temp/ Einfluß Temp °C                                                                | - 29                        | - 29                                     |
| X-Ray/ X-Strahlen                                                                           | II                          | I                                        |

**Approvals / Zulassungen : TUV, DB-Zul.-Nr. 42.107.02, ABS**

This is to certify that the welding wire conforms with the above standards/ Diese Bescheinigung bestätigt die oben genannten Standards der Schweißleitungen

This certificate was issued by DP -equipment and does not require signature/  
Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift  
TIS 39-220 Pilzno ul. Blonia 5

Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

| Název materiálu              |                            |                                        | 100/25 AlFe | 110/22 AlFe |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------|-------------|
| Modul pružnosti              | $E_{\text{vyp}}$           | MPa                                    | 81 360      | 77 450      |
| Činitel tepelné roztažnosti  | $\alpha_{\text{vyp}}$      | $\cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$       | 17,742      | 18,363      |
| Měrná hmotnost               | $\chi_{\text{vyp}}$        | $\cdot 10^{-3}\text{N/m}^3\text{mm}^3$ | 37,630      | 35,943      |
| Průměr vodiče                | $d_{\text{vodič}}$         | mm                                     | 14,60       | 14,96       |
| Matematický průřez vodiče    | $s_{\text{vodič}}$         | $\text{mm}^2$                          | 124,70      | 132,30      |
| Poměr Al / Fe                | $K_{\text{poměr}}$         | -                                      | 4,05        | 5,01        |
| Počet drátů v laně           | -                          | ks                                     | 12+18/1+6   | 11+17/1+6   |
| Zaručená celková pevnost     | $P_{\text{zar}}$           | N                                      | 43 560      | 42 030      |
| Měrná celková pevnost        | $P_{\text{měr}}$           | MPa                                    | 349,318     | 317,687     |
| Maximální dovolené namáhání  | $\sigma_{\text{dov max}}$  | MPa                                    | 132,741     | 120,721     |
| Dovolené doporučené namáhání | $\sigma_{\text{dov 90\%}}$ | MPa                                    | 119,467     | 108,649     |
| Jmenovitý trvalý proud       | $I_{40/70}$                | A                                      | 311         | 328         |
| Maximální odpor při 20°C     | $R_{20}$                   | $\Omega/\text{km}$                     | 0,284       | 0,259       |
| Hmotnost                     | m                          | $\cdot 10^{-3}\text{ kg/m}$            | 478,50      | 484,90      |
| Měrná jednotka               |                            | -                                      | kg          |             |
| Materiálové číslo KZM        |                            |                                        | 50 003 749  | 50 033 762  |

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



**AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY  
A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY**  
organizační složka státu

**ODBORNÉ STANOVISKO  
z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky**

**Předmět odborného stanoviska**  
Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Výrobce**  
ENERGETIKA SERVIS s.r.o.  
Křižíkova 1690, 37001 České Budějovice

**Použité podklady**

- žádost o zpracování odborného stanoviska ze dne 29. 2. 2012
- protokol o zkoušce č. 9596/11 – dielektrická ochrana ptáků pro konzoly 35 kV
- rozměrový náčrt Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Odborné stanovisko**

Na konzolách typu Pařát byly prokázány ojedinělé úhyny větších druhů ptáků při pokusu o dosednutí na šikmá ramena konzoly. Toto riziko by mělo být eliminováno instalací speciálních bidel umístěných pod hlavní konzolou. Dosavadní monitoring účinnosti těchto bidel prokázal, že ptáci velikosti káněte skutečně bidla k dosedání využívají. U menších dravců (zejména poštolka obecná) byly zaznamenány pokusy o dosednutí na vodorovnou výztuhu mezi bočními a středním ramenem konzoly. U ptáků velikosti poštolky je však úraz proudem při tomto způsobu dosednutí díky tělesným proporcím prakticky vyloučen. Výrobce navrhl navíc v místě napojení bočních ramen konzoly umístění šikmých vzpěr, které plní funkci optické i funkční bariéry. Uvedená bariéra omezí náhodné pokusy o dosedání ptáků větších rozměrů, u kterých může v těchto případech dojít k úrazu. Podle současných znalostí dosedací bidlo tedy pravděpodobně nezajistí stoprocentní bezpečnost, ale společně s navrženými zábranami omezí riziko úrazů na minimální úroveň. Konzola Pařát s bidlem je pro ptáky jednoznačně bezpečnější, než tatáž konzola bez bidla a zábran. Navržené parametry bidla (průměr 63 mm, zdrsněná povrchová úprava, délka 130 cm) považujeme za optimální. V případě užití tohoto typu konzoly v praxi, doporučujeme bidly osazovat každý sloup a volit různé způsoby umístění tzn. navrhovanou alternativu č. 1 a 2, jelikož ptáci usedají na bidla podle směru větru, rušivých vlivů v okolí, výskytu možné kořisti apod.

**Závěr**

Snaha o zajištění ochrany ptáků na vedení vysokého napětí vychází ze zákonů č. 458/2000 Sb., v platném znění a zákona č. 114/1992 Sb., v platném znění. AOPK ČR byla Ministerstvem životního prostředí pověřena k provádění hodnocení výrobků a zařízení využívaných v distribuční síti z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky. Na základě současného poznání AOPK ČR souhlasí s instalací Konzoly pařát III-N-JB kat. č. 784-00 do distribučního zařízení. Navržené řešení lze považovat pro ptáky za jednoznačně bezpečnější, než ponechání konzoly bez ochranných prvků a dosedacího bidla. Předložený návrh považuje AOPK ČR za posun v zajištění ochrany ptáků na

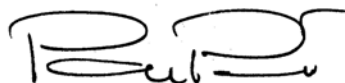
sloupech VN. Instalaci bidel doporučujeme na každý sloup s jejich alternativním umístěním dle předložené dokumentace. Vzhledem k tomu, že instalace dosedacího bidla nemůže patrně zajistit stoprocentní bezpečnost ptáků, bude jejich účinnost dále v provozu průběžně sledována a v případě potřeby bude doporučena úprava řešení. Výše uvedené předpoklady jsou platné pouze za podmínek existence a funkčnosti všech navržených prvků. Garanci kvality použitých materiálů a montážních postupů zajišťuje výrobce. Za správnost instalace odpovídá dodavatel stavby a příslušná energetická společnost.

Odborné stanovisko obsahuje 2 strany

Praha dne: 19. 06. 2012

Vypracovali:  
Ing. Václav Hlaváč  
Ing. Helena Neuwirthová  
Ing. Martina Koubová

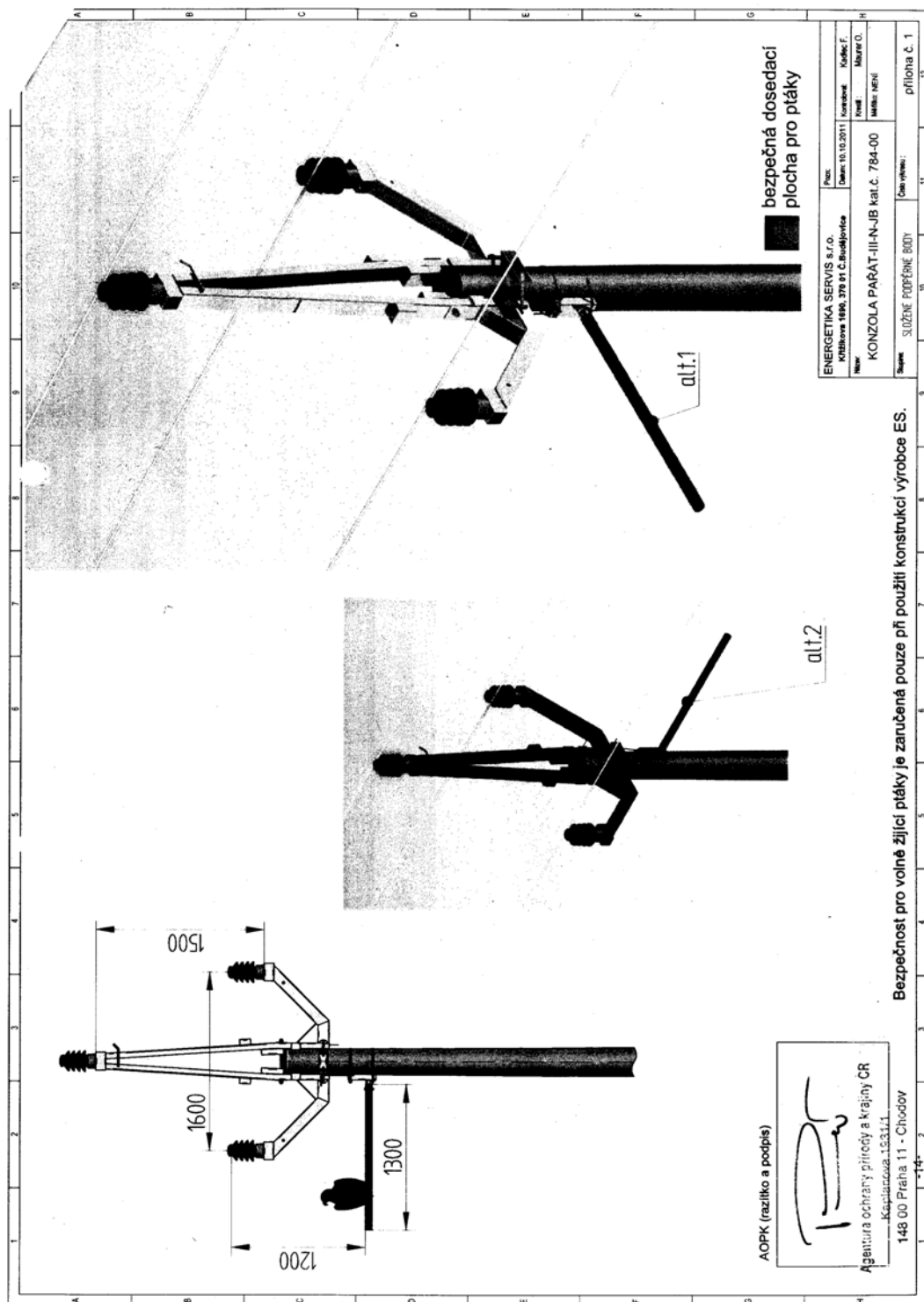
Schválil:



Ing. Pavel Pešout  
NÁMĚSTEK ŘEDITELE

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-







## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

Podpis

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical Univesity of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

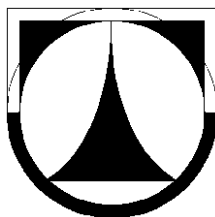
If I use my thesis of grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I play the expenses invested in the cretion of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

Signature

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



**Fakulta strojní**

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské technologie

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

## **Production and verification of top console for power grid of 22kV**

Ondřej Maurer

**KSP – SM – B43**

Vedoucí práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..

Konzultant:

### **Rozsah práce a příloh:**

|                |    |
|----------------|----|
| Počet stran:   | 66 |
| Počet příloh:  | 25 |
| Počet tabulek: | 12 |
| Počet obrázků: | 44 |

24. 5. 2013

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

|                  |                                         |
|------------------|-----------------------------------------|
| Jméno a příjmení | <b>Ondřej Maurer</b>                    |
| Studijní program | <b>B2341 Strojírenství</b>              |
| Studijní obor    | <b>3911R018 Materiály a technologie</b> |
| zaměření         | <b>Strojírenská technologie</b>         |

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s konstrukčním řešením a způsobem výpočtů vrcholových konzol
2. Zpracujte přehled norem a předpisů, které se vztahují k metodice výpočtů.
3. Popište metodické postupy ověřování funkčnosti vrcholových konzoly ve firmě ENERGETIKA SERVIS s.r.o.
4. Na vybraném typu vrcholové konzoly realizujte pevnostní výpočet a ověření funkčnosti
5. Porovnejte různé metodické postupy výpočtů konzol



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu cca 30 stran
- grafické práce: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

[1] Normy ČSN, EN, ISO

[2] Podklady firmy ENERGETIKA SERVIS s.r.o.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld, CSc.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

---

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ)  
.Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



## ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 Strojírenství  
Student: Ondřej Maurer  
Téma práce: Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly  
pro rozvodnou síť napětí 22 kV

Production and verification of top console  
for power grid of 22kV

Číslo BP: KSP-SM-B43  
Vedoucí BP: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..  
Konzultant:

### Abstrakt:

Téma bakalářské práce je zaměřeno na konstrukční návrh, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol VN v energetickém průmyslu. V teoretické části se shrnou veškeré zákonné i konstrukční požadavky. Dále teorie výpočtu pevnosti a metodika ověřování funkčnosti konzoly ve společnosti Energetika servis s.r.o. Experimentální část je věnována návrhu nové konzoly PAŘÁT-III-JB-N, na které se zrealizuje pevnostní výpočet a ověření funkčnosti na reálném prototypu.

### Abstract:

This thesis is focused on the design, strength calculation and methodology for verifying the functionality of top console in the energy industry. The theoretical part will summarize all the legal and structural requirements. Furthermore, the theory and methodology of calculation, testing the functionality of the console at Energy Services Ltd. Experimental section is devoted to design a new console PAŘÁT-III-JB-N, which implements the strength calculation and verification of the real prototype.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. Května 2013

.....

Ondřej Maurer

Tř. 5. Května 57,

37382 Včelná

## Poděkování:

Děkuji doc. Ing. Heinzovi Neumannovi, CSc., Františkovi Kadlecovi, Ing. Hlachovi a Ing. Dvořákové za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.



# Obsah

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod .....                                                | 11 |
| 2     | Cíl práce .....                                           | 12 |
| 3     | Teoretická část .....                                     | 13 |
| 3.1   | Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR ..... | 13 |
| 3.1.1 | Podpěrné body venkovního vedení VN .....                  | 13 |
| 3.1.2 | Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN.....            | 15 |
| 3.1.3 | Vodiče pro VN.....                                        | 17 |
| 3.1.4 | Izolátory pro VN.....                                     | 18 |
| 3.1.5 | Typy vrcholových konzol VN společnosti ES .....           | 20 |
| 3.1.6 | Konzola PAŘÁT-II-JB-N .....                               | 26 |
| 3.2   | Navrhování konzol.....                                    | 28 |
| 3.2.1 | Zákonné požadavky.....                                    | 28 |
| 3.2.2 | Elektrické požadavky .....                                | 30 |
| 3.2.3 | Konstrukční požadavky.....                                | 32 |
| 3.2.4 | Technologie výroby.....                                   | 39 |
| 3.3   | Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N .....            | 40 |
| 3.4   | Výpočet pevnosti konzoly VN .....                         | 42 |
| 3.4.1 | Normy a předpisy pro výpočet pevnosti.....                | 42 |
| 3.4.2 | Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce.....    | 42 |
| 3.4.3 | Návrhová únosnost svarových spojů.....                    | 43 |
| 3.4.4 | Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation .....         | 44 |
| 3.5   | Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES .....     | 46 |
| 3.5.1 | Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030 .....      | 46 |

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 4     | Experimentální část .....                              | 50 |
| 4.1   | Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                      | 50 |
| 4.2   | Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation.....         | 53 |
| 4.3   | Výpočet návrhové únosnosti .....                       | 60 |
| 4.3.1 | Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR .....      | 60 |
| 4.3.2 | Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru.....        | 61 |
| 4.4   | Ověření funkčnosti.....                                | 61 |
| 4.4.1 | Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti.....             | 61 |
| 4.4.2 | Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena .....      | 62 |
| 4.4.3 | Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena .....    | 64 |
| 5     | Vyhodnocení výsledků .....                             | 66 |
| 5.1   | Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy .....           | 66 |
| 5.2   | Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti..... | 67 |
| 5.3   | Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                | 68 |
| 6     | Závěr .....                                            | 69 |

# Seznam použitých zkratek a symbolů

|            |                    |                                                                                                                                   |
|------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ES         | /                  | výrobní společnost Energetika servis s.r.o.                                                                                       |
| PB         | /                  | podpěrný bod                                                                                                                      |
| JB         | /                  | jednoduchý betonový sloup                                                                                                         |
| DB         | /                  | dvojitý betonový sloup                                                                                                            |
| PS         | /                  | příhradový stožár                                                                                                                 |
| N          | /                  | nosná konzola/podpěrný bod                                                                                                        |
| AlFe       | /                  | holé kombinované lano z duše (Fe) a obalu (Al)                                                                                    |
| VN         | /                  | vysoké napětí                                                                                                                     |
| MKP        | /                  | metoda konečných prvků                                                                                                            |
| $U_n$      | [kV]               | jmenovité napětí sítě                                                                                                             |
| $U_s$      | [kV]               | nejvyšší napětí sítě                                                                                                              |
| $b_{emp}$  | [m]                | min. vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí                                                                        |
| $f$        | [m]                | větší z průhybů vodičů                                                                                                            |
| $L_{ins}$  | [m]                | svislá délka nosného izolátorového závěsu                                                                                         |
| $D_{pp}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič                                                                                   |
| $D_{el}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objekty na potenciálu země                                                                    |
| $c_{emp}$  | [-]                | konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností                                                                                     |
| $k_{emp}$  | [-]                | součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce.                                           |
| $d$        | [m]                | průměr neomrzlého vodiče                                                                                                          |
| $g_c$      | $[N \cdot m^{-1}]$ | tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky                                                                             |
| $\delta$   | [°]                | úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí |
| $\sigma_H$ | [MPa]              | vodorovné namáhání ve vodiči                                                                                                      |
| $E$        | [MPa]              | modul pružnosti vodiče                                                                                                            |
| $\nu$      | [°C]               | teplota okolí                                                                                                                     |
| $\alpha$   | [-]                | součinitel tepelné roztažnosti vodiče                                                                                             |

|                     |                                        |                                                                          |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $a$                 | [m]                                    | délka rozpětí (vzdálenost mezi podpěrnými body)                          |
| $\gamma$            | [N.mm <sup>-2</sup> .m <sup>-1</sup> ] | měrná tíha vodiče                                                        |
| $z$                 | [-]                                    | přetížení vodiče námrazou                                                |
| $F_1$               | [kN]                                   | síla způsobená tahem vodiče, ve směru vedení                             |
| $F_2$               | [kN]                                   | síla působící kolmo na směr vedení                                       |
| $F_3$               | [kN]                                   | síla způsobená tíhou vodiče, ve směru zemské gravitace                   |
| $F_v$               | [kN]                                   | síla výsledná (vektorový součet sil $F_1$ , $F_2$ a $F_3$ )              |
| $l_R$               | [N/m]                                  | referenční zatížení námrazou na jednotku délky                           |
| $q_h$               | [Pa]                                   | dynamický tlak větru ve výšce $h$ nad zemí                               |
| $G_q$               | [-]                                    | poryvový součinitel                                                      |
| $G_c$               | [-]                                    | součinitel rozpětí                                                       |
| $C_c$               | [-]                                    | součinitel aerodynamického odporu vodiče                                 |
| $\beta$             | [°]                                    | úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče                            |
| $R_d$               | [MPa]                                  | návrhová únosnost základního materiálu                                   |
| $R_k$               | [MPa]                                  | dolní mez kluzu základního materiálu                                     |
| $\gamma_M$          | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti materiálu                                 |
| $\gamma_{M2}$       | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti svaru                                     |
| $f_u$               | [MPa]                                  | jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu         |
| $\beta_W$           | [-]                                    | korelační součinitel podle tabulky                                       |
| $f_{vw,d}$          | [MPa]                                  | návrhová pevnost koutového svaru ve smyku                                |
| $\gamma_{exp}$      | [-]                                    | součinitel spolehlivosti zkoušení pro ocelové konstrukce                 |
| $\lambda_l$         | [-]                                    | součinitel přetvoření pro ocelové konstrukce                             |
| $G_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající stálému provoz. zatížení                  |
| $V_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající nahodilému provoz. zatížení               |
| $V_d$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající extrémnímu nahodilému provoznímu zatížení |
| $\sigma_{max}$      | [MPa]                                  | maximální naměřené napětí von Mises (metoda HM)                          |
| $\sigma_{dov\ max}$ | [MPa]                                  | maximální dovolené namáhání vodiče (stanovené výrobcem)                  |

# 1 Úvod

Iniciátorem této bakalářské práce je výrobce vrcholových konzol společnost Energetika servis s.r.o. (dále jen ES), která přijala od provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o. nový požadavek na změnu geometrických parametrů souboru konzol PAŘÁT-II na betonové sloupy. V této práci byl zadán úkol, navrhnout a ověřit funkčnost nové konzoly vybraného typu PAŘÁT-III-JB-N, která nahradí stávající konzolu PAŘÁT-II-JB-N. Téma je proto zaměřené na konstrukční řešení, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol vysokého napětí.

Z obecného hlediska je vrcholová konzola svařovaná ocelová konstrukce, která se montuje na hlavy stožáru za účelem podepření vodičů nadzemní linky vysokého napětí v patřičné mezifázové vzdálenosti. Z legislativního hlediska je vrcholová konzola klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, z důvodu trvalého zabudování do inženýrských staveb.

Tato práce se skládá ze dvou hlavních částí, teoretické a experimentální. V teoretické části se popisují typy konzol, jejich aplikace a funkce. Speciálně je rozebrána konzola PAŘÁT-II-JB-N, která se bude inovovat. Dále se provede rozbor zákonných a konstrukčních požadavků, posléze provozní zatížení a výpočet pevnosti. V kapitole výpočtů se popíše mj. i pevnostní analýza Simulation (na bázi MKP) softwaru Solid Edge, kterou výrobní společnost ES nedávno implementovala. ES ověřuje funkčnost a pevnost konzol zatěžovacími zkouškami únosnosti. Postup zatěžovacích zkoušek bude uveden v poslední kapitole teoretické části.

Experimentální část je zaměřena na samotný návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N, realizaci pevnostní analýzy Simulation a vypracování pevnostního výpočtu. V další fázi je reálně zhotovený prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N podroben zatěžovací zkoušce únosnosti, podle stávající metodiky ověřování funkčnosti společnosti ES.

Závěrem se vyhodnotí výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu, výsledky pevnostní analýzy a funkčnost nové konzoly. Pokud analýza Simulation prokáže objektivní výsledky, které se budou podobat reálnému chování konstrukce, může se stát do budoucna hlavním, moderním a efektivním nástrojem při dimenzování konzol ve společnosti ES.

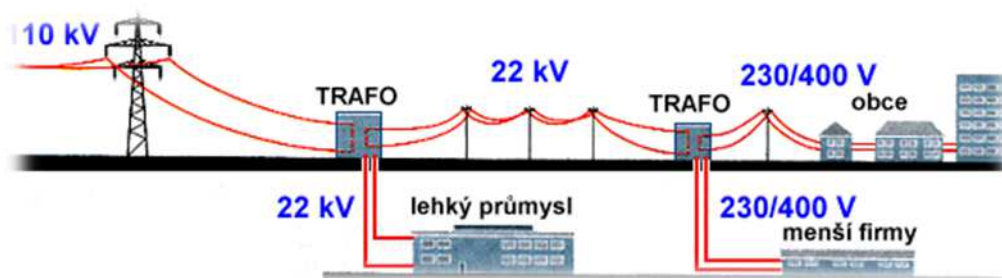
## 2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její funkčnost resp. únosnost. Únosnost konzoly se ověří jak pevnostní analýzou v softwaru Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR

V elektrárnách se vyrábí trojfázový střídavý proud o napětí velikosti několika tisíců voltů. Kvůli prvotní potřebě přenosu elektřiny na velké vzdálenosti, při nízkých ztrátách, se toto napětí ještě v elektrárně transformuje na velmi vysoké napětí (VVN) o velikosti 400kV, 220kV nebo 110kV. Rozvodné nadzemní sítě VVN se proto říká přenosová soustava. Přenosová soustava končí v transformačních stanicích, kde se VVN transformuje na vysoké napětí (VN) o velikosti 110kV. Část elektrické energie se přivádí linkami venkovního vedení přímo do velkých průmyslových podniků a do měnících elektrifikovaných železničních tratí. Zbývající část putuje do transformačních stanic, kde se napětí dál transformuje na vysoké napětí o velikosti 22kV, nebo 35kV. Sítě VN se proto nazývají distribuční soustavou. K poslední transformaci na nízké napětí o velikosti 230V a 400V dochází v trafostanicích samotných podniků, obcí a městských čtvrtí [11].



Obr. 1: Schéma rozvodu elektrické energie [11]

Elektrické venkovní vedení VN distribuční soustavy je tedy sít' linek, tvořených z různých typů podpěrných bodů, na jejichž vrcholcích jsou upnuty vrcholové konzoly s izolátory nesoucí vodiče. Aby bylo možné identifikovat funkce a provozní zatížení vrcholových konzol, je nutné se nejdříve seznámit s typologií podpěrných bodů.

#### 3.1.1 Podpěrné body venkovního vedení VN

Podpěrný bod je obecně stožár, budova a vše co zajišťuje stálou podporu vodičů nad zemí. Každý podpěrný bod se skládá ze stožáru (nebo budovy), základu, podpěry (vrcholové konzoly), izolátorů a armatur. Podle účelu se podpěrné body dělí následovně [1]:

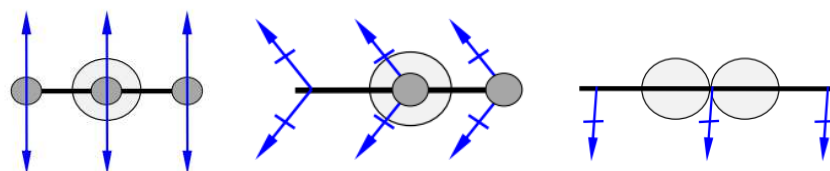
- Nosný podpěrný bod (N) - je vybavený podpěrnými izolátory nebo nosnými izolátorovými závěsy v přímé trase vedení
- Rohový podpěrný bod (R) - je vybavený podpěrnými izolátory, nosnými, nebo kotevními izolátorovými závěsy použitý v lomovém bodu trasy vedení, nebo vybavený kotevními závěsy v přímé trase vedení, pokud současně neslouží jako výztužný podpěrný bod
- Výztužný podpěrný bod (V) - je v přímé trase nebo lomu trasy vedení, sloužící současně jako pevný bod pro omezení lavinového šíření poruchy
- Koncový podpěrný bod (Ko) - je vybavený kotevními závěsy a je zatížen celkovým jednostranným tahem vodičů
- Odbočný podpěrný bod (O) - je bod, ze kterého vedou jednotlivá vedení alespoň třemi různými směry
- Křižovatkový podpěrný bod (K) - ohraničuje ve vedení jednotlivá rozpětí nebo kotevní úsek, kterým přechází přes koridor železničních drah
- Podpěrné body kombinované - slouží současně více účelům a značí se například KV, KR, RV, OV

Podle účelu podpěrného bodu se významně liší jeho provozní zatížení. Proto existuje celá řada stožárů, ke kterým se přiřazují konzoly patřičného tvaru a pevnosti.



Obr. 2: Linka venkovního vedení VN 22kV – systém konzol PAŘÁT-II na betonových sloupech (u obce Dolní Věžnice, okres Havlíkův Brod)





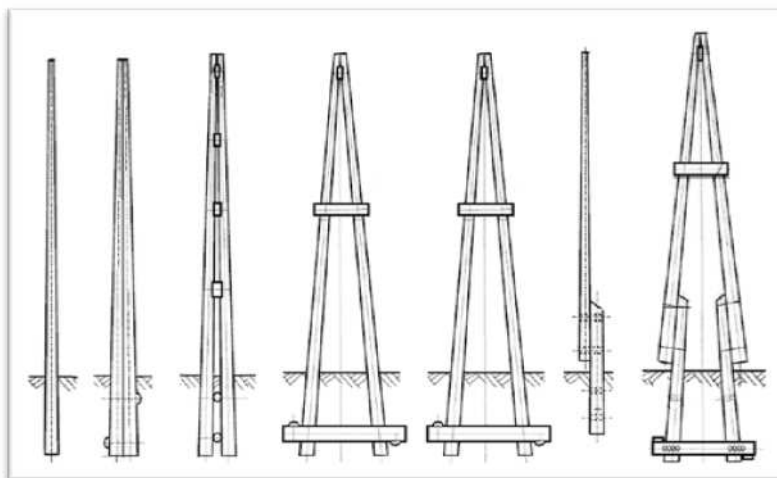
Obr. 3: Půdorysné schéma základních typů podpěrných bodů. Nosný PB (vlevo), rohový PB (uprostřed), koncový PB (vpravo)

### 3.1.2 Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN

Stožár podpěrného bodu je obecně prvek štíhlého tvaru, jehož spodní část (pata) je vetknutá do země a vrchní volná část (hlava) je určena pro upnutí konzol. Pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR se používají převážně tyto druhy stožárů:

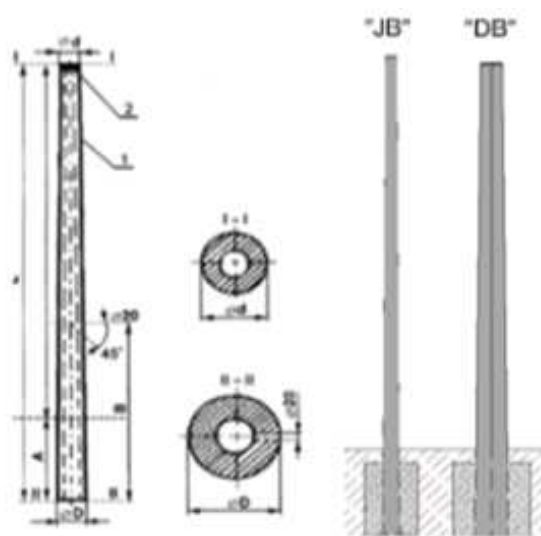
- Dřevěné sloupy
- Betonové sloupy
- Příhradové stožáry

Dřevěné sloupy se aplikují především v lesních průsecích, chráněných krajinách oblastí a v členitém terénu, kam se nedostane těžká technika. Jejich cena je v porovnání s ostatními druhy stožárů výrazně nižší, přitom životnost může dosáhnout až příznivých padesáti let. Životnost sloupů zapaštěných přímo do země je nepříznivě ovlivněna hnilobou, kterou lze zamezit vhodnou impregnací, nebo umístěním sloupů na železobetonové patky. Dřevěné sloupy se vyrábí v ČR z rostlých jehličnatých stromů (smrk, borovice a jedle) o průměru hlavy od 16 do 210 [cm], délka dosahuje 8 až 15 m. Aktuálně se rozlišuje několik sloupových provedení, které unesou namáhání v hodnotách od 5 do 15 kN viz obr. 4.



Obr. 4: Typy dřevěných stožárů: a) J, b) D, c) U, d) Š, e) A, f) J<sub>p</sub>, g) Š<sub>p</sub> nebo A<sub>p</sub> (p – na železobetonových patkách)

Betonové sloupy jsou nejrozšířenějšími stožáry podpěrných bodů pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR. Cena je vyšší než u dřevěných sloupů, zato větší dovolené vrcholové zatížení od 1,5 do 25 kN umožňuje projektantům prodloužit pole mezi podpěrnými body za určitých podmínek až na 180 m. Sloupy jsou v celé délce konické a obsahují střední průchozí otvor (obr. 5). Vyrábí se opět v různých odstupňovaných délkách od 9 do 15 m a průměrech hlavy 180 – 225 mm. Výroba probíhá odstředivou technologií ve speciálních nedělených formách s předem uloženou předepjatou ocelovou výztuží, která se zalévá betonovou směsí. Pro urychlení výrobního procesu se forma vyhřívá. Betonové sloupy se staví v jednoduchém (JB), nebo dvojitém (DB) provedení, s nutností provedení betonového základu. Na stavbě se dovybavují plastovými čepicemi, aby se zamezilo vnikání dešťové vody do středových otvorů.



Obr. 5: Typy betonových sloupů

Příhradové stožáry venkovního vedení VN (dále jen PS) se využijí při vzniku velkého vrcholového zatížení, nebo při potřebě dostat vodiče vysoko nad terén. Vzhledem k vysoké ceně se aplikují pouze je-li to nezbytné. Výška PS dosahuje až 24 m a dovolené zatížení ve vrcholu od 20 do 80 kN. Příhradové stožáry novější výroby se skládají ze dvou nebo tří dílů, které se montují šroubovými spoji. Spodní díly jsou konické, kdežto vrchní díl má konstantní šířku čtvercového průřezu pro snazší upevnění vrcholových konzol. Jendotlivé díly jsou svařené ze čtyř rohových stojin ve tvaru profilu L, které se vyztužují po obvodu diagonálami. PS je rovněž vetknut do betonového základu.

### 3.1.3 Vodiče pro VN

Pro výstavbu venkovního vedení se používají v ČR nejčastěji tyto druhy vodičů:

- Holé kombinované lano (AlFe)
- Jednoduchý izolovaný vodič (JIV)
- Kabel VN (závěsný / samonosný)

Holé kombinované lano je používáno ve venkovních vedeních vysokého napětí pro přenos elektrické energie, kde je třeba při dobré vodivosti i velké pevnosti. Je použitelné ve všech námrazových oblastech a pásmech znečištění. Odolává běžným povětrnostním podmínkám, ale dlouhodobé působení ovzduší znečištěného chemickými látkami vodič poškozuje. Značení udává základní informace o výrobku a souvisí s podrobným popisem uvedeným v katalogu výrobků. Konstrukce lana je soustředná. Duše ze slaněných ocelových drátů je šroubovitě ovinuta vrstvami z hliníkových drátů. Kombinovaná hliníková lana s ocelovou duší (AlFe lana) se vyrábějí podle požadovaného průřezu s jednou až čtyřmi vrstvami hliníkových drátů. Hliníkové dráty se vyrábějí z elektro-vodivého hliníku (Al 99,5 %) v průměrech od 1,6 do 4,0 mm. Ocelové dráty jsou chráněny proti korozi žárovým zinkováním [12].

Při výrobě jsou jednotlivé vrstvy stáčeny v opačném směru, aby se zabránilo samovolnému rozplétání. E.ON ČR s.r.o. používá nejčastěji pro venkovní vedení distribuční soustavy 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe, nebo 110/22 AlFe. Typové označení **42/7 AlFe** znamená [12]:

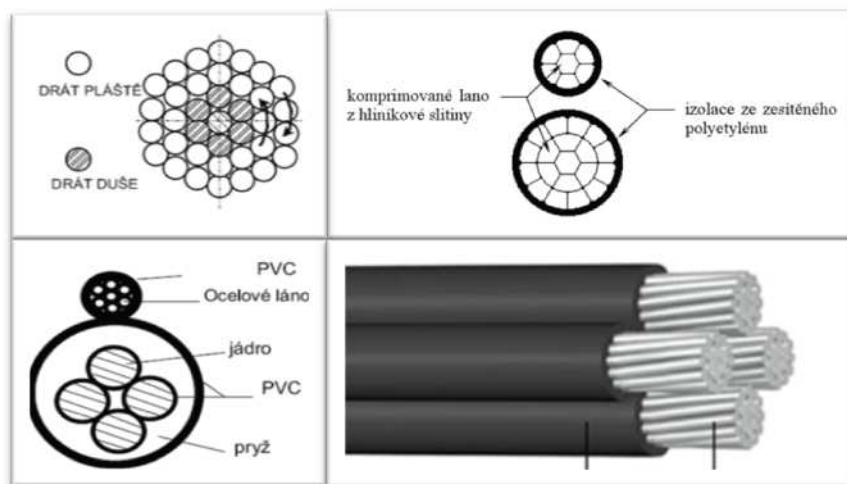
**42** jmenovitý průřez hliníkového pláště [mm<sup>2</sup>]

**7** jmenovitý průřez ocelové duše [mm<sup>2</sup>]

**AlFe** kombinace materiálů (hliník a železo)

Jednoduché izolované vodiče jsou určeny především do lesních průseků, ale lze jimi rovněž řešit těžko průchodná území zástavby s malými vzdálenostmi od budov a konstrukcí. JIV je tvořen prostým komprimovaným lanem s jednou vrstvou izolace. Lano je vyrobeno z materiálu známého pod obchodním názvem Aldrey, což je slitina hliníku (Al), magnézia (Mg) a křemíku (Si). Po stočení je lano průběžně lisováno (komprimováno), aby se zmenšil volný prostor mezi slaněnými dráty. Vrstva izolace v tloušťce 2,3 mm je ze zesíťovaného polyetylénu (XLPE). Vodiče opatřené touto izolací se považují za vodiče se základní izolací a musí se proto upevňovat na izolátory.

Venkovní vedení s JIV lze budovat ve vodorovném (vedle sebe) nebo svislém (pod sebou) uspořádání fázových vodičů jednoho systému vedení. Z praktických důvodů bez ohledu na průhyb a délku rozpětí je stanovena mezifázová vzdálenost na 0,5 m. Při styku fázových vodičů nedojde k přeskoku nebo zkratu. Nejznámějším výrobcem těchto vodičů je společnost NOKIA (Finsko) [12].



Obr. 7: Druhy vodičů - AIFe (nahore vlevo), JIV (nahore vpravo), závěsný kabel AYKYz (dole vlevo), samonosný kabel AES (dole vpravo) [12].

Samonosné kabely typu AES jsou složeny ze stočených žil, které obsahují hliníkové jádro a vrstvu izolace z PE, odolnou proti UV záření. Kabel AYKYz je tvořen z izolovaných hliníkových žil, stočených do duše kabelu a lana z ocelových pozinkovaných drátů. Duše je uložena v obalu vyplněném gumou. Ocelové lano a duši chrání ještě plášť z PVC [12].

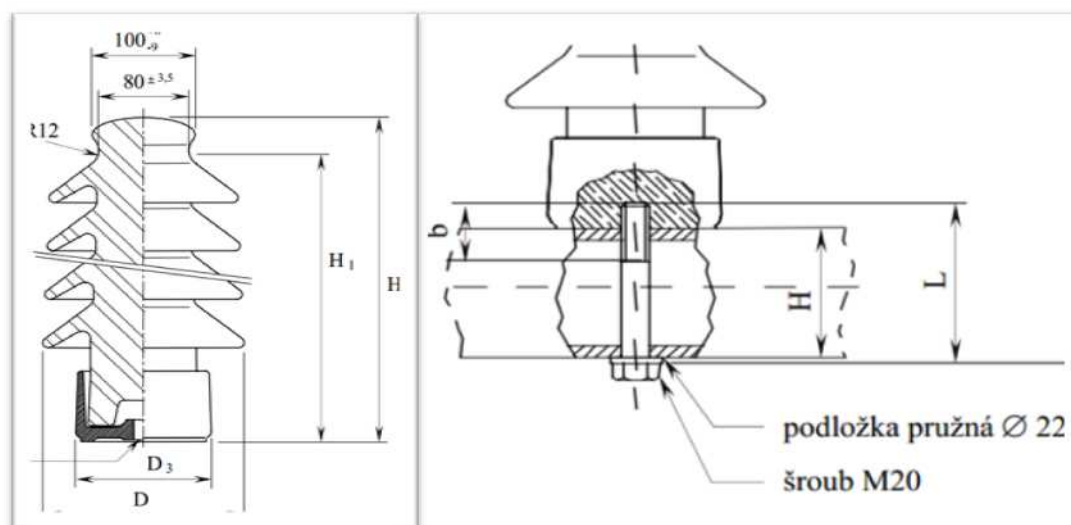
### 3.1.4 Izolátory pro VN

Izolátory jsou nezbytným příslušenstvím pro izolované připevnění živých vodičů ke konzolám vysokého napětí. V ČR se nejčastěji používají tyto typy izolátorů:

- Podpěrné izolátory
- Závěsné (kotevní, tahové) izolátory

Podpěrný izolátor (obr. 8) se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné konzoly v rovných úsecích vedení, na rohové konzoly pokud není překročeno jeho dovolené namáhání a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu [12].

Charakteristické pro tento typ je, že má nejkratší průraznou dráhu v tuhém izolačním materiálu rovnou nejméně polovině délky nejkratší přeskokové vzdálenosti vzduchem vně izolačního tělesa. Na výrobu izolátorů se nejčastěji používá keramika a různých kompozitů. Podpěrný izolátor se skládá z izolačního podpěrného dřívku a z patní armatury. Tvar hlavy dřívku určuje způsob upevnění vodiče k izolátoru, výběr armatury a způsob upevnění podpěrného izolátoru ke konstrukci podpěrného bodu. Podle tvaru hlavy dřívku se dělí na VPA a VPAv [12].



Obr. 8: Podpěrný keramický izolátor typu VPA (výrobce - Elektroporcelán a.s., Louny) [12].

Závěsný izolátor se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné body v rovných úsecích vedení, na rohové body, na kotevní body a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu. Izolátor je typu A - neprůrazný, je vyroben podle technických podmínek výrobce Reliable Ohio, USA. Jádrem dřívku je ze skelného vlákna navinuté mnoha závitů do smyčky tvaru „∞“ která je upravena pro spoj oko a vidlice přímé s čepem. Do otvorů ve smyčce jsou vsazena galvanicky pokovená pouzdra pro čepy. Ve formě je na smyčku nalisován plášť včetně stříšek ze silikonové pryže. Jejich tvar umožňuje nerozlišovat způsob zavěšení. Povrch izolátoru je šedý, hladký, matně lesklý a souvislý. Závěsný izolátor se zapřáhne ke konstrukci pomocí různých kotevních svorek a kloubů, se kterými tvoří tzv. „kotevního řetězce“ viz obrázky č. 9 a 10 [12].

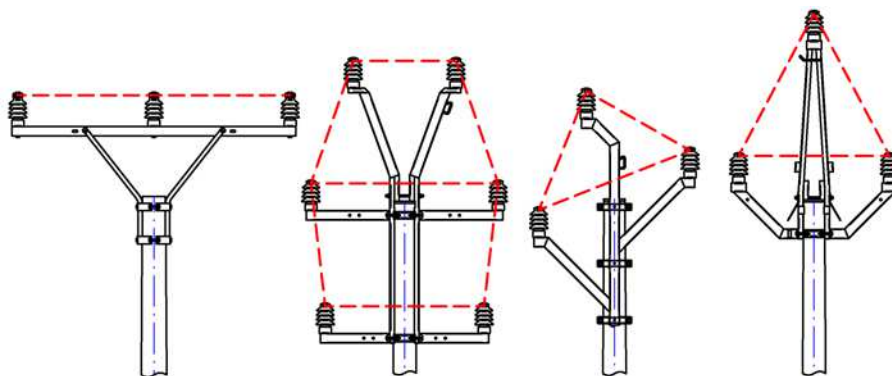


Rozdělení konzol podle účelu podpěrného bodu:

- Nosná (N) – pro účely nosného podpěrného bodu
- Rohová (R) – pro účely rohového a výztužného podpěrného bodu
- Koncová (K) – pro účely koncového podpěrného bodu

Rozdělení konzol podle druhu vodičů a jejich geometrického uspořádání:

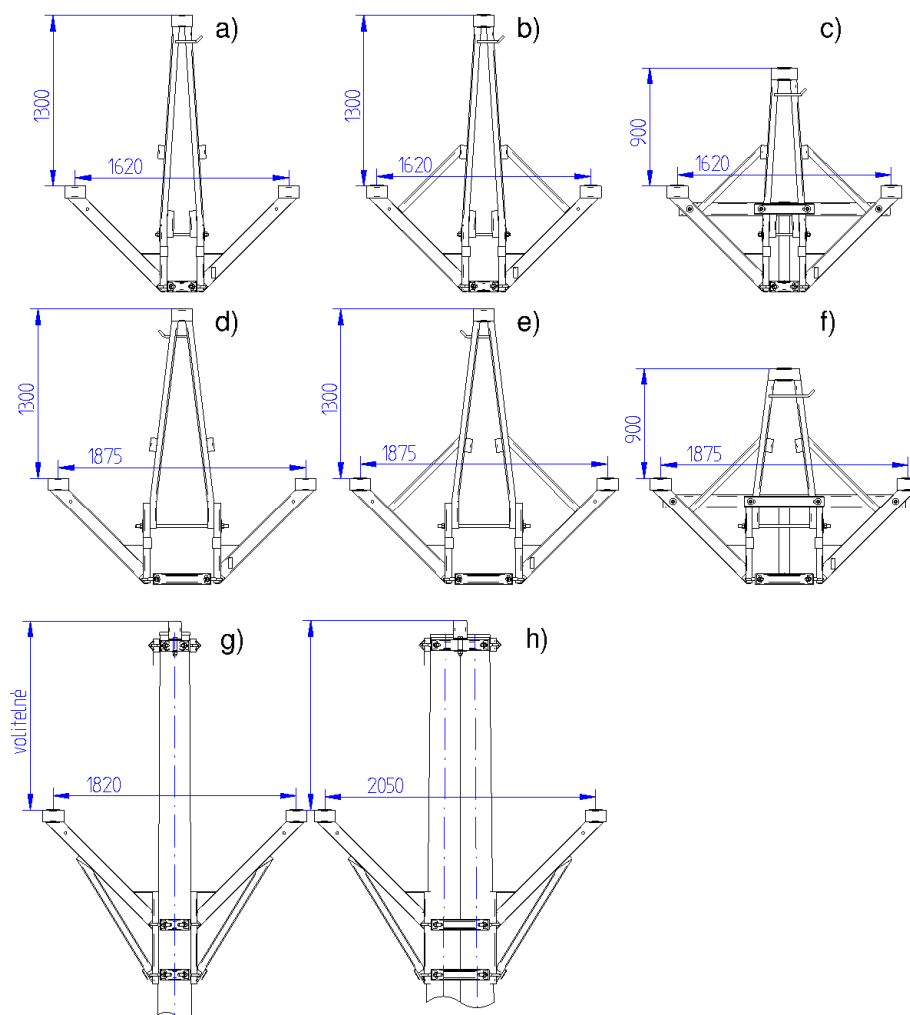
- Pro holá kombinovaná lana (AlFe), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Pařát (trojúhelníkové)
  - Šestivodič
- Pro jednoduché izolované vodiče (IZVE), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Rovinné
  - Vertikální
  - Šestivodič



Obr. 11: Typy konzol podle rozměrového uspořádání holých vodičů (AlFe): Zleva: rovinná konzola, šestivodič, stromeček a pařát (na obrázcích jsou nosné konzoly na JB)

Snahou výrobní společnost ES je navrhovat konzoly tak, aby se daly použít v jednom zvoleném uspořádání vodičů na všechny typy betonových a dřevěných stožárů, pro základní účely podpěrných bodů. Takto nastavenou koncepcí vznikají tzv. komplexní „systémy konzol“. Příklad nejpoužívanějšího systému v ČR na betonové sloupy (pro vodiče AlFe) je na obrázku č. 12.

Konzoly PAŘÁT-II lze montovat pro účely nosného, rohového i koncového podpěrného bodu a to jak na betonové sloupy v provedení JB i DB o průměru hlavy 180 – 250 [mm]. Výhody těchto konzol spočívají v jednoduché montáži pomocí svorníku a stavitelných třmenových objímek. Konzoly jsou symetrické, montují se přesně do os sloupů, tím je přenášeno zatížení do vrcholu sloupu příznivěji.



Obr. 12: Systém konzol PARÁT-II na betonové sloupy: a) JB-N, b) JB-R, c) JB-K, d) DB-N, e) DB-R, f) DB-K, g) JB-40kN h) DB-40kN

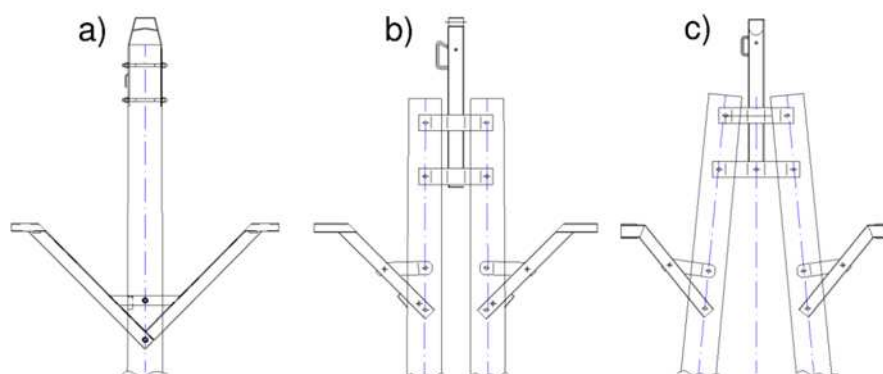
Venkovní vedení si daleko lépe počíná v trojúhelníkovém uspořádání vodičů s pády stromů na vedení. Tíha nahnutého stromu se většinou rozloží mezi dva vodiče (krajní a horní) a vodiče se většinou nepřetrhnou. Trojúhelníkové uspořádání vodičů je oproti rovinnému výhodné i proto, že je štíhlejší a při respektování dovolených vzdáleností od objektů se snáze vejde do nahuštěné zástavby. Dále se snáze provádí údržba izolátorů, protože na ně montér dosáhne přímo z konzoly. Konzoly jsou konstruovány vhodnými profily opatřené různými otvory a navařenými kapsami pro montáž doplňujících prvků, jako jsou: montážní stupačky, montážní kladky, kotvy pro uchycení montéra při práci ve výškách, boční nosníky pro podepření svodových vodičů, praporce pro aplikaci bezpečnostního závěsu apod. Konzoly PARÁT vykazaly i mírné snížení úrazů a úhynů volně žijícího ptactva zásahem elektrického proudu.





Obr. 13: Konzola PAŘÁT-II-DB-N (vlevo), konzola PAŘÁT-II-DB-R (vpravo) [7]

Konzoly typu PAŘÁT jsou ve stejném typovém rozsahu zkonstruovány i pro dřevěné stožáry (systém konzol PAŘÁT-DS) viz ukázka na obrázku č. 14.



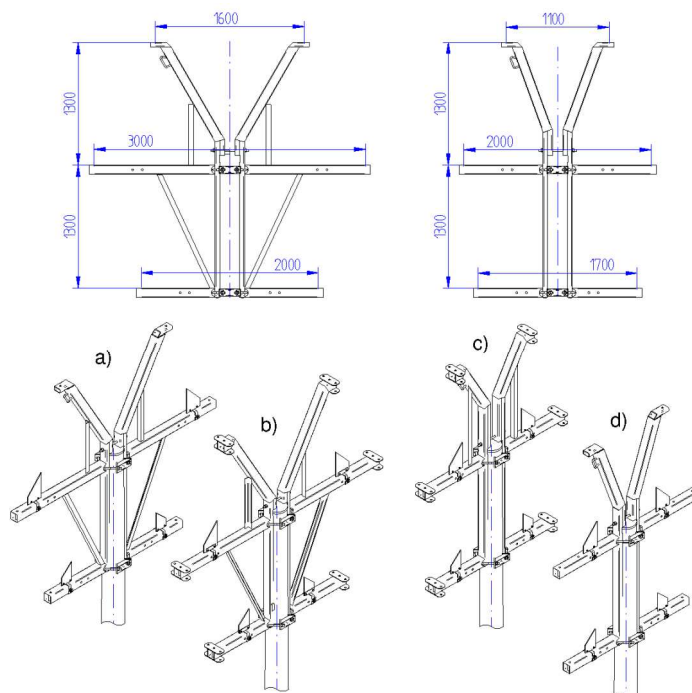
Obr. 14: Konzoly systému PAŘÁT na dřevěné sloupy: a) DS-N-J, b) DS-N-U, c) DS-K-A

Konzoly PAŘÁT se dimenzují na odolnost vůči provoznímu zatížení vztaženému k jednomu vodiči linky, na které poukazuje tabulka č. 1. Provozní zatížení je podrobněji vysvětleno v kapitole 3.3.

tab. 1: Dovolené provozní zatížení konzol jedním vodičem, stanovené výrobcem [7].

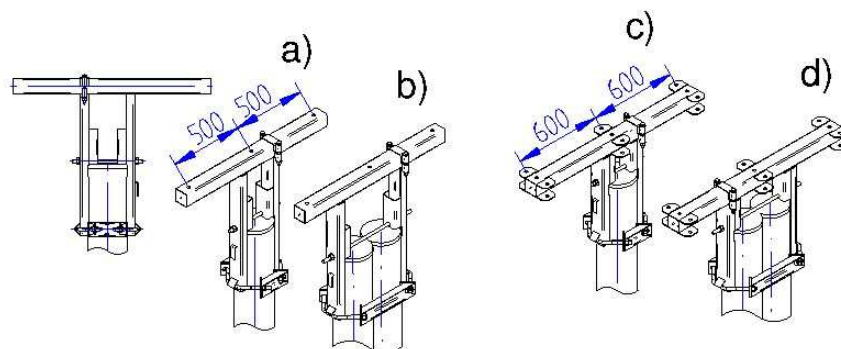
| Systém konzol | PAŘÁT-II (na betonové sloupy) |      |      |      |       |       | PAŘÁT-DS (na dřevěné sloupy) |        |        |        |        |        |
|---------------|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Typ konzoly   | JB-N                          | DB-N | DB-R | DB-K | JB-40 | DB-40 | DS-N-J                       | DS-N-Š | DS-N-U | DS-N-A | DS-K-Š | DS-K-A |
| F1 [kN]       | 3                             | 3    | 5    | 9,3  | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      |
| F2 [kN]       | 3                             | 3    | 9,3  | /    | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 9,3    | 9,3    |
| F3 [kN]       | 7                             | 7    | 7    | 7    | 13    | 13    | 7                            | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      |

Konzoly ze systému šestivodič (obr. 15) umožňují upnutí dvou linek VN na jednom stožáru. Tento systém je rovněž určený pro vodiče AlFe. Kvůli zvětšenému provoznímu zatížení se na dřevěné sloupy nekonstruuje. Používají se převážně při rozvodu linek VN u rozveden. Dvojité vedení se ovšem mnohem častěji aplikuje na pevnější příhradové stožáry.

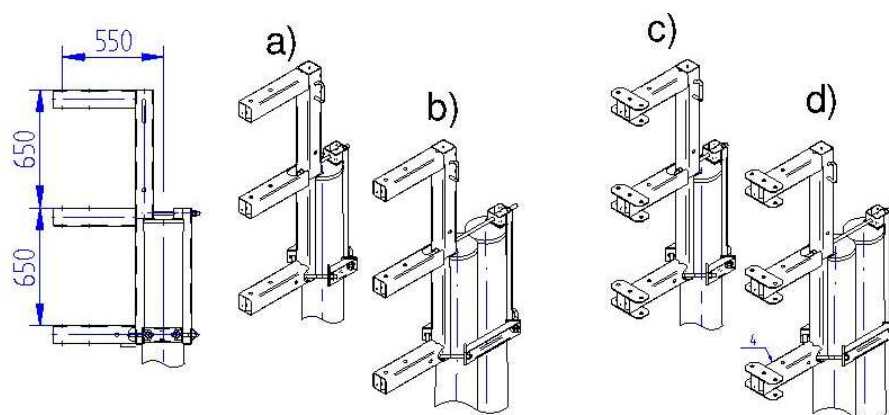


Obr. 15: Systém konzol šestivodič na betonové sloupy: a) 1600/3000/200-N-JB, b) 1600/3000/2000-R-JB, c) 1100/2000/1700-K-JB, d) 1100/2000/1700-N-JB

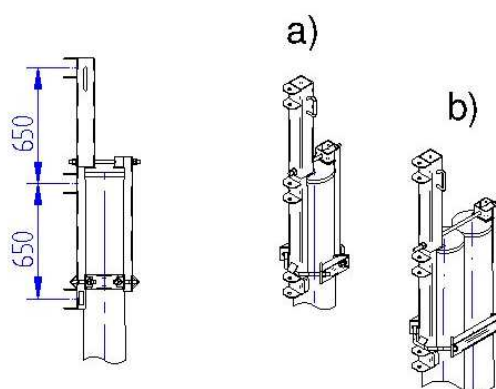
Konzoly pro jednoduché izolované vodiče (IZVE) dovolují menší mezifázové vzdálenosti. Vedení je kompaktní, používá se v lesních průsecích a zástavbě. Pro jednoduchá vedení se vyrábí v horizontálním (obr. 16) i vertikálním rozměrovém uspořádání (obr. 17 a 18), jak na betonové sloupy, tak i dřevěné. U dvojnásobného vedení je konzola konstruována pouze na betonové sloupy (obr. 19).



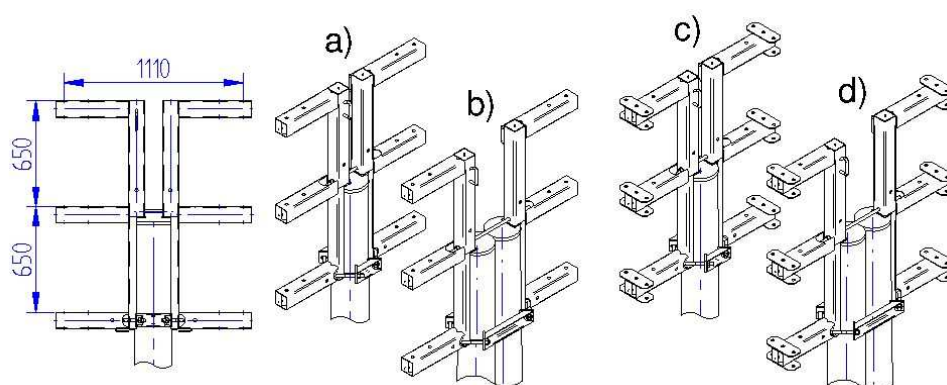
Obr. 16: Systém rovinných konzol 3xIZVE-II: a) 3xIZVE-II-JB-N, b) 3xIZVE-II-DB-N, c) 3xIZVE-II-JB-K, d) 3xIZVE-II-DB-K



Obr. 17: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-N, b) 3xIZVE-svisláI-DB-N, c) 3xIZVE-svislá-JB-K, d) 3xIZVE-svislá-DB-K



Obr. 18: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-R, b) 3xIZVE-svisláI-DB-R



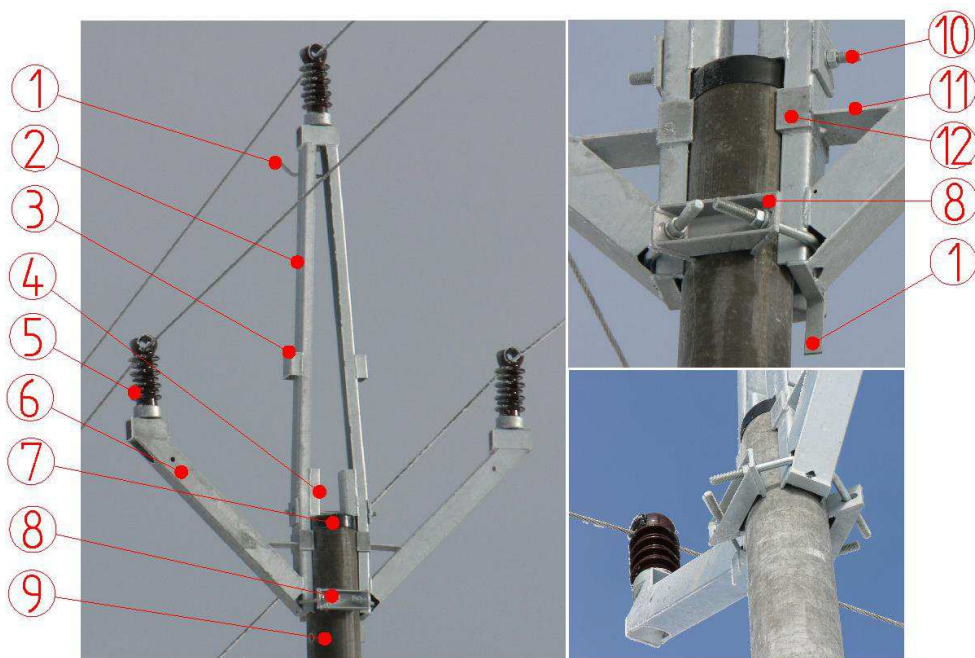
Obr. 19: Systém svislých konzol 6xIZVE: a) 6xIZVE-svislá-JB-N, b) 6xIZVE-svisláI-DB-N, c) 6xIZVE-svislá-JB-K, d) 6xIZVE-svisláI-DB-K

Z předchozích obrázků je patrné, že typologie vrcholových konzol je velmi rozsáhlá, proto se tato práce bude dále detailněji zabývat pouze jedním konkrétním typem PAŘÁT-II-JB-N, na kterou jsou kladeny nové požadavky od distributora.

### 3.1.6 Konzola PAŘÁT-II-JB-N

Konzola PAŘÁT-II-JB-N je konstruována pro nosný účel tak, aby šla upnout na hlavu jednoduchého betonového sloupu o průměru od 180 do 250 [mm]. Skládá ze středního nosného ramene, ke kterému jsou přivařena boční ramena. Na každé rameno lze pomocí spojovacího materiálu namontovat podpěrný izolátor. Na středním nosném rameni jsou přivařeny držáky pro montážní stupačku a v horní části bezpečnostní kotva pro osobní zajištění pracovníka při práci ve výšce. Kotva přesahuje profil a je zahnuta do tvaru háku, pro případné odložení horního vodiče při výměně izolátoru. V dolní části středového ramene je přivařen zemnicí pásek. Součástí konzoly JB a DB je stavitelná třmenová objímka, která se skládá ze dvou kotevních segmentů a dvou svorníků tvaru otevřeného U.

Konzola a tělo objímky se svařuje z normalizovaných, za tepla válcovaných tvarově jednoduchých profilů. Veškeré použité profily (viz výrobní výkres v příloze 1) jsou z oceli S235JR (11 373), značené podle ČSN EN 10025. Samotná svařená konzola musí být dostatečně dimenzována, tak aby unesla stanovené provozní zatížení. Dostatečnou pevnost musí prokázat jak zvolený základní materiál jednotlivých dílců, tak i svarové spoje mezi dílci. Samotná pevnost ovšem nezaručí plnou funkčnost konzoly, ta totiž spočívá i v tuhosti upnutí na hlavě betonového sloupu.



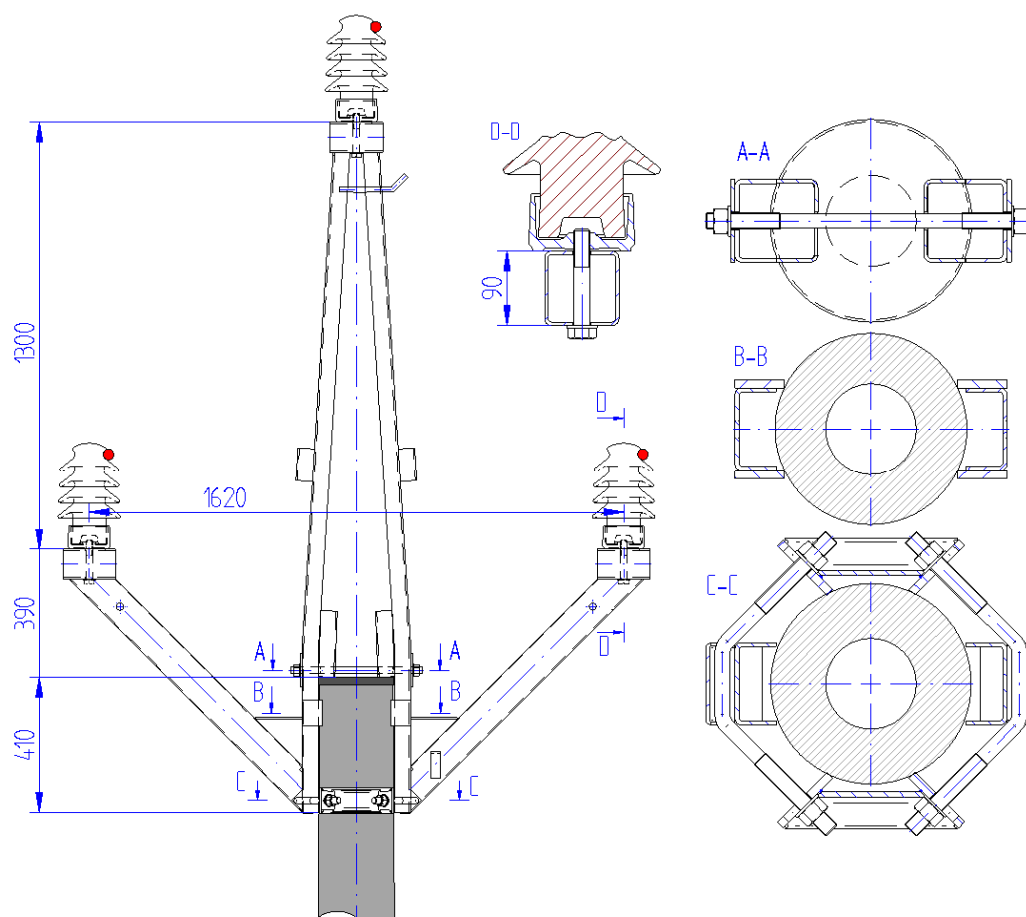
Obr. 20: Popis konzoly PAŘÁT-II-JB-N: 1) bezpečnostní kotva, 2) střední rameno, 3) držák zásuvné montážní stupačky, 4) podpěra, 5) Podpěrný izolátor, 6) boční rameno, 7) čepice, 8) stavitelná třmenová objímka, 9) betonový sloup, 10) svorník M20, 11) výztuha bočního ramena, 12) opěrná deska [7].

Problematika tuhého upnutí je velice komplikovaná a ve společnosti ES se ověřuje v rámci zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu. Konzola PAŘÁT-II-JB-N se dotýká hlavy betonového sloupu celkem ve 14 pomyslných kontaktech. Správnou polohu ve vertikálním směru zajišťují podpěry navařené z vnitřní části středového ramena (pozice 4 na obr. 20 a řez A-A na obr. 21). Podpěry slouží jako doraz, o který se konzola usadí při nasazování na hlavu sloupu. V tomto okamžiku může konzola již jen rotovat kolem osy sloupu.

Konzola musí udržovat stálou polohu vůči sloupu, po celou dobu životnosti. Tuhost upnutí vůči prokluzu se splní dotažením dvou matic svorníku M20, který prochází skrz podpěry a středové rameno těsně nad hlavou betonového sloupu (řez A-A na obrázku č. 21) a dotažením čtyř matic M20 tvarovaných svorníků (řez C-C na obrázku č. 21). Po dotažení všech matic, se čtyři opěrné silně zaříznou do betonového sloupu (cca 1-3mm). Tvarované svorníky třmenové objímky stahují profily středového ramena do osy sloupu a segmenty objímky se opět zaříznou do betonového sloupu čtyřmi ostrými hranami. Tento osvědčený způsob upnutí je použit na všech konzolách systému PAŘÁT-II, kterých se vyrobilo od roku 2005 přes 30 000 kusů. Zaručená tuhost upnutí vůči usmýknutí je důležitá v okamžiku, kdy se přetrhne jeden krajní vodič v lince a způsobí mírnou nerovnováhu působících sil. Nerovnováha sil může vzniknout i při samotné výstavbě venkovního vedení, kdy se natahují vodiče linky.

Utahovací moment matic není stanoven, protože se ostré hrany konzoly zařezávají v praxi do betonových sloupů pokaždé jinak hluboko a je obtížné ho analyticky vyjádřit.

Konzola obsahuje různé otvory a profily přizpůsobené velikosti, pro použití montážních přípravků. Montážní přípravky zjednodušují výstavbu a provoz venkovního vedení. Boční ramena obsahují otvory o průměru 22 [mm], do kterých se vkládají na stavbách montážní kladky pro natahování vodičů. Konzola je dále opatřena kapsami, navařenými na profilech středového ramena, do kterých se zasunují montážní stupačky. Konstrukce nesmí obsahovat uzavřené dutiny a kapsy. Pokud to konstrukce neumožní sama svým tvarem, musí se do dílců vystříhnout tzv. technologické otvory, tak aby po žárovém zinkování mohl tekutý zinek samovolně vytéct z konstrukce zpět do nádrže.



Obr. 21: Upnutí konzoly PARÁT-II-JB-N na betonovém sloupu JB

Podle nového požadavku, přijatého od distributorů a provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o., je geometrie konzoly PARÁT-II-JB-N nevyhovující. Požadavkem pro návrh nové konzoly PARÁT-III-JB-N je prodloužit vertikální vzdálenost mezi horním a krajním vodičem z 1200 na 1500 [mm]. Dále se musí zachovat vzdálenost horního vodiče od hlavy sloupu 2100 [mm] a horizontální mezifázovou vzdálenost 1620 [mm].

## 3.2 Navrhování konzol

### 3.2.1 Zákonné požadavky

Konzola je právně klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, protože se natrvalo zabuduje do inženýrských staveb určených pro energetiku. To znamená, že musí výrobce respektovat příslušné zákony o stavebních výrobcích, technické normy a prokázat způsobilost k výrobě od akreditované organizace

Před uvedením výrobku na trh musí dále výrobce zajistit shodu vlastností výrobku s technickými předpisy, vydanými podle § 13 odstavec zákona 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů v platném znění a dle § 5 nařízení vlády č. 190/2002 Sb. v platném znění, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky označované CE, v souladu se směrnicí 89/106 EHS Rady Evropských společenství o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích – CPD), ve znění směrnice 93/68 EHS Rady Evropských společenství.

Konzola se vyrábí technologií svařování, tedy tzv. zvláštním procesem, u kterého se jakost nedá zajistit pouhými kontrolami. Proto je nutné chápat svařování jako komplexní proces, který prolíná celým spektrem činnosti výrobní organizace. Aby mohl výrobce zajistit požadovanou kvalitu výrobku, musí implementovat systém managementu kvality podle ČSN EN ISO 9001:2008, ve kterých je proces svařování dále specifikován normou ČSN EN ISO 3834-1 až 6. Kvalita výroby je řízena normou ČSN EN 1090-2 provádění ocelových konstrukcí. Výrobu ocelových konstrukcí mohou tudíž provádět pouze firmy s příslušným oprávněním podle normy ČSN EN 1090-1, ve které se odkazuje při navrhování stavebních konstrukcí na Eurokódy, začleněné do systému ČSN. Pro svařované ocelové konstrukce je to konkrétně EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.

Konzoly se pro zákazníky v ČR dále navrhují v souladu s podnikovou normou energetiky - PNE 33 3301 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV do 45kV včetně, která navazuje na evropskou normu EN 50 423:2005 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV AC do 45kV tak, aby společně s dalšími prvky venkovního vedení byla zaručena provozní bezpečnost.

Dalším kritériem pro navrhování konzol je Energetický zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny v platném znění, který stanovuje povinnost budovat nové venkovní vedení bezpečně vůči živočichům, speciálně vůči volně žijícím ptákům. Novela tohoto zákona 211/2011 Sb. povinnosti rozšiřuje a stanovuje povinnost zabezpečit před smrtelným úrazem ptactva nejen nové venkovní vedení, ale i všechna existující vedení – původní, nová i rekonstruovaná. Bezpečnost konzol vůči volně žijícím ptákům posuzuje Agentura ochrany přírody a krajiny v ČR (AOPK), která je v této věci pověřená Ministerstvem ochrany životního prostředí. Každá nová vrcholová konzola vysokého napětí musí obdržet kladné odborné stanovisko od AOPK.



### 3.2.2 Elektrické požadavky

Venkovní vedení se musí navrhovat a stavět tak, aby po dobu plánované životnosti [1]:

- sloužilo svému účelu ekonomicky, s přijatelnou úrovní spolehlivosti.
- odolávalo šíření poruchy
- nebylo příčinou zranění, ohrožení života nebo majetku při výstavbě, provozu a údržbě
- bylo bezpečné pro veřejnost
- bylo přijatelné z hlediska vzhledu a životního prostředí
- musí plnit požadavky bezpečné práce ve výškách pro údržbu a montáž doplňujícího zbrojení

#### 3.2.2.1 Spolehlivost venkovních vedení

Požadované spolehlivosti venkovních vedení se dosáhne, budou-li z hlediska zatížení navrženy v souladu s normou PNE 33 3301. Pro navrhování venkovních vedení do 45kV včetně, jsou v souladu s metodou obecného přístupu zavedeny čtyři úrovně spolehlivosti v závislosti na době návratu  $T$  klimatických zatížení, viz tabulka 2 [1].

Tab. 2: Úrovně spolehlivosti [1]

| Úroveň spolehlivosti | Doba návratu $T$ klimatických zatížení [roky] |
|----------------------|-----------------------------------------------|
| 0                    | 20                                            |
| 1                    | 50                                            |
| 2                    | 150                                           |
| 3                    | 500                                           |

Všechna venkovní vedení musí odpovídat alespoň úrovni 0, s výjimkou dočasných staveb, nebo provizorních přeložek. Úroveň spolehlivosti 1 je považována za referenční [1].

#### 3.2.2.2 Klasifikace napětí

Jmenovité napětí, nejvyšší napětí a požadovaná výdržná napětí pro dvě nejužívanější hladiny napětí ve venkovních sítích uvádí tabulka 3 [1].

Tab. 3: Jmenovitá, nejvyšší a výdržná napětí sítě [1]

| Jmenovité napětí $U_n$ [kV] | Nejvyšší napětí $U_s$ [kV] | Požadované výdržné napětí      |                            |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                             |                            | za deště $U_{rw\ 50\ Hz}$ [kV] | za sucha $U_{rw\ LI}$ [kV] |
| 22                          | 25,0                       | 50                             | 125                        |
| 35                          | 38,5                       | 75                             | 180                        |



### 3.2.2.3 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoků

„Ke stanovení nejkratších vzdáleností byla použita empirická metoda založená na zkušenosti s dlouhodobě provozně ověřenými vzdálenostmi. Hodnoty v tabulce 4 jsou vymezeny pouze pro holé vodiče do nadmořské výšky 1000m. Pro nadmořskou výšku nad 1000m se nejkratší vzdálenost zvětší o 1% na každých započatých 100m.

Tab. 4: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  a  $D_{pp}$  - pro vnitřní vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]                           | $D_{pp}$<br>[m]                                   | $D_{pp}$<br>[m]                            |
|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 25,0                               | 0,23                                      | 0,26                                              | 0,70                                       |
| 38,5                               | 0,38                                      | 0,45                                              | 0,70                                       |
| Poznámky                           | Mezi fázovými vodiči<br>a podpěrným bodem | Mezi fázovými vodiči<br>jednoho systému<br>vedení | K fázovým vodičům<br>jiných systémů vedení |

Tab. 5: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  - pro vnější vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Pro všechna napětí                 | 0,6                           |
| Poznámky                           | K zemi a ostatním<br>objektům |

kde je:

$D_{pp}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoků mezi fázovými vodiči při přepětích s rychlým nebo s pomalým čelem.  $D_{pp}$  je vnitřní vzdálenost.

$D_{el}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoků mezi vodiči a objekty na potenciálu země, při přepětích s rychlým nebo pomalým čelem.  $D_{el}$  může být buď vnitřní, když se uvažují nejkratší vzdálenosti mezi vodiči a konstrukcí podpěrných bodů nebo vnější, když se uvažuje nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objektem“ [1].

### 3.2.2.4 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoků

Mezi fázovými holými vodiči musí být jak při teplotě vodičů  $+40^{\circ}\text{C}$ , tak i při návrhovém zatížení námrazou dodržena alespoň vzdálenost  $b_{emp}$  [1].

$$b_{emp} = k_{emp} \cdot \sqrt{f + L_{ins}} + c_{emp} \cdot D_{pp} \quad (3.1)$$

kde je:

$b_{emp}$  – minimální vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí [m]

- f větší z průhybů vodičů [m]  
 $L_{ins}$  svislá délka nosného izolátorového závěsu [m]  
 $D_{pp}$  nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič [m]  
 $c_{emp}$  konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností se bere  $c_{emp}=0,6$  [ / ]  
 $k_{emp}$  součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce.

Pro izolační závěsy, které se nemohou vychylovat ve směru kolmém k ose vedení, podpěrné izolátory a pro pevné izolační konzoly se bere  $L_{ins}=0$ . Součinitel  $k_{emp}$  se určí dle vztahu (3.2) [1].

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d / g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right] [ / ] \quad (3.2)$$

kde je:

- d průměr neomrzlého vodiče [m]  
 $g_c$  tíha vodiče [N]  
 $\delta$  úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí. Udává se ve stupních a nabývá velikosti od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ .

Se vzorcem (3.1) se dále bude pracovat v kapitole výpočtu provozního zatížení, kde je nutné stanovit maximální dovolenou vzdálenost mezi podpěrnými body podle rozměrového uspořádání vodičů na konzole. Maximální dovolená vzdálenost mezi podpěrnými body limitována právě i dovoleným průhybem vodiče. Vzorec (3.1) se proto převede rovnou do tvaru, který vyjadřuje maximální průhyb vodiče mezi podpěrnými body z navrženého rozměrového uspořádání vodičů na konzole.

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 \quad (3.3)$$

### 3.2.3 Konstrukční požadavky

#### 3.2.3.1 Volba základního a přídatného materiálu

Má-li konstrukce splňovat požadavky na ni kladené, musí vyhovovat z hlediska spolehlivé pevnosti, tuhosti a stability. K tomu přistupují i hlediska ekonomická. Toto řeší pojem – technologičnost konstrukce [2].

Prvořadým kritériem pro volbu základního materiálu je potřebná únosnost při provozním namáhání – ať už statickém nebo cyklickém. Nutno je též zohlednit charakter provozních podmínek: teplota, cyklické namáhání, působení koroze apod. Důležitá je rovněž otázka svažitelnosti a případné nutnosti předehřevu. Zařazování materiálu do 11 skupin pro účely svařování uvádí směrnice: TNI CEN ISO/TR 15 608 (05 0323) [2].

Pro stavební ocelové konstrukce se používají různé konstrukční oceli. Pro nosné konstrukce se doporučuje značka S355, protože konstrukce vyráběná z této oceli bývá většinou levnější, než z oceli S235. Ocel S235 se nejčastěji používá pro nenosné a doplňkové konstrukce. Všechny moderní oceli jsou svažitelné. Požadavky na plechy a tvarované tyče vyrobené válcováním za tepla z konstrukčních ocelí stanovuje norma ČSN EN 10025 [2].

Společnost ES na základě dlouholetých zkušeností upřednostňuje aplikaci materiálu S235JR. Zároveň dbá na plné recyklaci konzol bez nutnosti jakýchkoliv úprav. To znamená, že jsou všechny dílce jednoho svařeného nerozebíratelného celku ze stejného materiálu.

Jmenovitá mez kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost a nejmenší hodnota vrubové houževnatosti přídatného svarového kovu, mají být stejné nebo lepší než je stanoveno pro základní materiál. Společnost ES svařuje konzoly technologií MAG, při kterých je použit přídatný materiál typu G3Si1 (podle EN 14341), v podobě drátu o průměru 0,8 a 1,0 [mm] viz příloha č. 21.

### 3.2.3.2 Volba tvaru a velikosti polotovarů

Tvar a velikost profilů samotných dílů se volí tak, aby velikost průřezu profilu zajistila dostatečnou pevnost vůči stanovenému provoznímu namáhání. Prioritně se vybírají normalizované řady tyčí a profilů válcované za tepla, které jsou ve společnosti ES zavedeny, viz tabulka č. 6. Volba profilu se provádí zároveň tak, aby bylo umožněno provést svary potřebného tvaru a velikosti.

Tab. 6: Nejpoužívanější profily používané ve společnosti ES

| Typ profilu<br>(ČSN<br>EN 10025) | TR 4HR<br>ČSN EN<br>10210-2 | Profil U<br>ČSN 42 6963 | Tyč PLO<br>ČSN 42 5340 | Plech<br>ČSN 42 5310 | Profil U<br>ČSN 42 5570 |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| Velikost<br>[mm]                 | 90x90x4                     | 80x40x4                 | 30x5 (8,10)            | P1,5                 | U80                     |
|                                  | 100x100x3                   | 100x50x4                | 40x5 (8,10)            | P2                   | U100                    |
|                                  | 100x100x5                   | 100x50x5                | 50x5 (8,10)            | P2,5                 |                         |
|                                  |                             |                         | 60x5 (8,10)            | P3                   |                         |
|                                  |                             |                         | 80x5 (8,10)            | P4                   |                         |
|                                  |                             |                         | 100x5 (8,10)           | P5                   |                         |

### 3.2.3.3 Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly

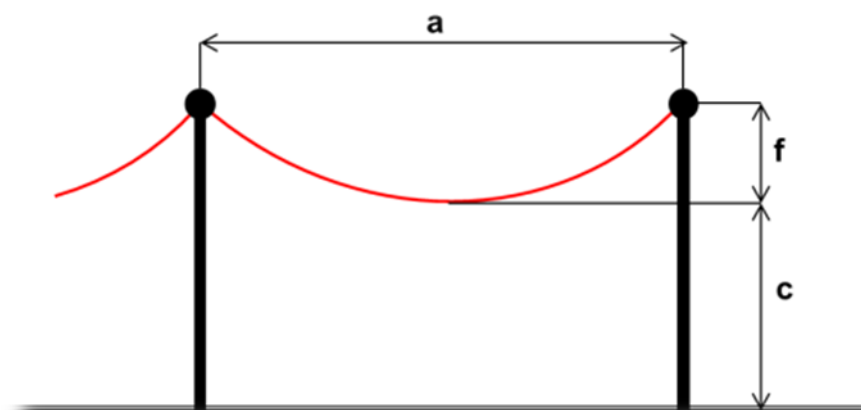
Na nové konzoly VN je od distributorů elektrické energie kladen zásadní požadavek zaměnitelnosti staré konzoly za novou, proto se při návrhu nového typu musí vždy uvažovat maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body z prvotně používaných konzol, které musí i nová konzola svým uspořádáním vodičů umožnit.

Na nové konzoly je současně kladen požadavek zachování trojúhelníkového uspořádání vodičů. Krajní vodiče na nové konzoly by neměly dosahovat vzdálenost od terénu výrazně nižší než prvotně vzniklé konzoly.

Historicky první řada vrcholových konzol v ČR vznikla současně se zahájením výroby betonových sloupů v 60. letech 20. Století. Soubor těchto konzol se značí rovinným (vodorovným) uspořádáním vodičů. Tehdy vznikly i první podklady pro projektování, vycházející z dnes již neplatné normy ČSN 34 1100 z roku 1972. Rozměrové uspořádání vodičů na rovinných konzolách umožňovalo vzdálenosti mezi podpěrnými body uvedené v tabulce 7.

Tab. 7 – Maximální vzdálenosti PB, podle geometrie prvotních rovinných konzol

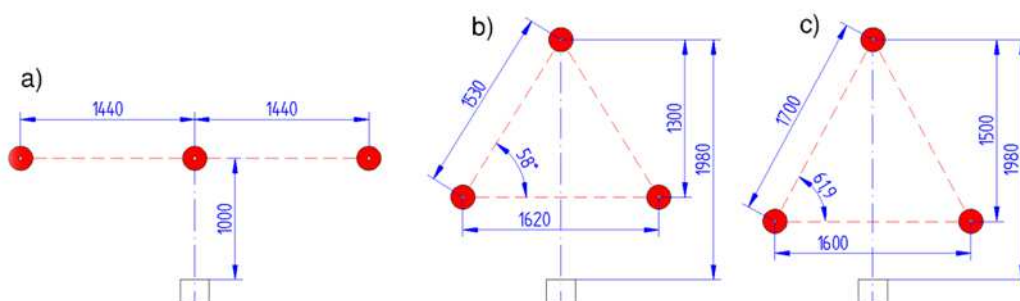
| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká |
| 42/7 AlFe    | 127                                                                   | 102       | 86      |
| 70/11-1 AlFe | 150                                                                   | 122       | 105     |
| 110/22 AlFe  | 180                                                                   | 152       | 133     |



Obr. 22: Schéma geometrie jednoho rozpětí mezi podpěrnými body:

a – vzdálenost mezi PB (rozpětí pole), f – průhyb vodiče, c – výška vedení nad zemí [11]

Rovinné konzoly VN na betonové sloupy musely optimálně pokrýt široké pásmo uvažovaných vzdáleností, proto vznikly tehdy tři pevnostní typy konzol, které se dále člení podle sloupového provedení na konzolu lehkou, výztužnou a těžkou.



Obr. 23: Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly:  
vlevo – prvotní rovinná konzola, uprostřed - konzola PARÁT-II-JB-N,  
vpravo – nový požadavek uspořádání pro konzolu PARÁT-III-JB-N

Zaměnitelnost konzol je důležitá zpravidla při rekonstrukcích stávajících linek, kde se při výměně PB požaduje zachování stávajícího místa. Jedině tak není nutné projednávat nové umístění stožáru s majiteli pozemků. Zaměnitelnost spočívá v dosažení stejné nebo větší maximální vzdálenosti podpěrných bodů se stejným nebo obdobným vodičem a za předepsaných povětrnostních podmínek. Při návrhu se vychází z předpokladu upevnění obou konců vodičů ve stejné výši. V praxi se rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost nepoužívá, ale nelze vyloučit ojedinělé případy.

Z rozměrového uspořádání vodičů se vypočte maximální dovolený průhyb  $f_{\max}$  pro nejpoužívanější typy vodičů, podle rovnice (3.3). Poté se řeší stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči, při jednotlivých námrazových oblastí.

Stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2 \quad (3.2)$$

kde je:

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| $\sigma_{H1}, \sigma_{H0}$ | vodorovné mechanické napětí ve stavech 1 a 0 [MPa] |
| $E$                        | modul pružnosti vodiče [MPa]                       |
| $\vartheta_1, \vartheta_0$ | teplota okolí ve stavech 1 a 0 [°C]                |
| $\alpha$                   | součinitel tepelné roztažnosti vodiče [°C]         |
| $z_1, z_2$                 | přetížení ve stavech 1 a 0 [ / ]                   |

Do stavové rovnice se dosazují číselné hodnoty vzdálenosti mezi PB a výsledkem je vodorovné napětí ve vodiči  $\sigma_H$ , jehož hodnota nesmí překročit dovolenou mez napětí od výrobce  $\sigma_{dov\ max}$ . Maximální dovolenou vzdálenost mezi PB  $a_{max}$  pro konkrétní lano určí stav, při kterém je dosažena hodnota  $\sigma_{dov\ max}$ .

Získané hodnoty  $a_{max}$  a  $\sigma_{dov\ max}$  se dosadí do rovnice pro výpočet obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly, ve které se provede kontrola, zda nebyla překročena hodnota maximálního dovoleného průhybu od rozměrového uspořádání konzoly  $f_{max}$ . Pokud se hodnota  $f_{max}$  překročila, postupně se snižuje  $a_{max}$ , dokud nebude  $f_{max}$  v rovnováze s hodnotou dle výpočtu rozměrového uspořádání vodičů.

Obecný tvar průhybové křivky jako paraboly je:

$$f_{max} = \frac{a_{max}^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} \quad (3.5)$$

kde je:

$a_{max}$  délka rozpětí (maximální vzdálenost mezi podpěrnými body) [m]

$\gamma$  měrná tíha vodiče [ $N \cdot mm^{-2} \cdot m^{-1}$ ]

$z$  přetížení vodiče námrazou [-]

$\sigma_H$  Vodorovné namáhání ve vodiči [MPa]

Správně navržená geometrie systému konzol bude vykazovat hodnoty maximální vzdálenosti mezi PB, blízké hodnotám v tabulce č. 7.

### 3.2.3.4 Maximální vzdálenost mezi PB s konzolou PAŘÁT-III-JB-N

Na konzoly PAŘÁT-III-JB-N se nejprve musí prověřit, jaký průhyb dovolí mezifázová vzdálenost mezi vodiči na bočních ramenech a mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním. Dovolенý průhyb pak stanoví ta rizikovější mezifázová vzdálenost.

Kvůli velkému rozsahu výpočtu se zde podrobně vyřeší pouze jeden stav pro jeden konkrétní vodič a ostatní stavy se ukáží formou výsledků v souhrnných tabulkách.

Podle tabulky č. 7, musí konzola umožnit svým rozměrovým uspořádáním vzdálenost mezi podpěrnými body  $a_{max}=127$  [m] pro vodič 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti.

Výpočet  $k_{emp}$  a  $f_{max}$  se provede podle vzorců (3.2) a (3.3), pro všechny typy nejpoužívanějších vodičů. V ČR jsou to vodiče 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe a 110/22 AlFe.

Výpočet součinitele  $k_{emp}$ , pro vodič 42/7 AlFe:

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d/g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right]$$

$$= 0,56 + \frac{(1 + 9/0,17159)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{61,9}{50} \right) \cos(2 \cdot 61,9) + 0,5 \sin(2 \cdot 61,9) \right]$$

$$= \underline{\underline{0,837}}$$

Výpočet maximálního dovoleného průhybu  $f_{max}$  pro vodič 42/7 AlFe:

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 = \left( \frac{1,7 - (0,6 \cdot 0,26)}{0,837} \right)^2 = \underline{\underline{3,4}} \text{ [m]}$$

Tab. 8 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodiče bočního a horního, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,7 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=61,9^\circ$ |           |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                      | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,837                                                                                          | 3,4       |
| 70/11-1 AlFe | 0,797                                                                                          | 3,75      |
| 110/22 AlFe  | 0,741                                                                                          | 4,34      |

Tab. 9 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodičů bočních, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,6 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=0^\circ$ |           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                   | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,674                                                                                       | 4,59      |
| 70/11-1 AlFe | 0,658                                                                                       | 4,82      |
| 110/22 AlFe  | 0,635                                                                                       | 5,18      |

Z tabulek 8 a 9 je patrné, že mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním, je rizikovější, než vodorovná vzdálenost mezi vodiči bočními. Maximální dovolený průhyb vodiče je stanoven tím přísnějším kritériem dle tabulky č. 8.

Nyní se může přejít k výpočtu maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body přes již zmíněnou stavovou rovnici a rovnici obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly.

Výpočet stavové rovnice (3.4) pro přepočet tahu ve vodiči 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti, při dosazení  $a_{max}=139\text{m}$ :

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2$$

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} \cdot \left( \frac{139 \cdot 1}{38} \right)^2 + 0,000018714 \cdot 80004 \cdot (-5 - (-5)) - 38 \right] = \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} (139 \cdot 4,672)^2$$

Výsledkem je velikost vodorovného napětí ve vodiči  $\sigma_{H1}=114,423$  [MPa]. Výrobce lan uvádí hodnotu  $\sigma_{\text{dov max AlFe42/7}} = 109,164$  [MPa]. Vzhledem k tomu, že tyto výpočty jsou pouze orientační, je výsledek vyhovující. Následuje kontrolní výpočet maximálního dovoleného průhybu z obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly podle rovnice (3.5):

$$f_{\text{max}} = \frac{a^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} = \frac{139^2 \cdot 0,03401 \cdot 4,672}{8 \cdot 114,423} = 3,404 [\text{m}]$$

Tento stav splňuje zadání, konzola umožňuje v lehké námrazové oblasti maximální dovolenou vzdálenost  $a_{\text{max}}=139$  m. To je o 12 m více, než prvotní rovinná konzola. Výsledky pro ostatní vodiče a námrazové oblasti jsou znázorněny v tabulce č. 10

Tab. 10 – Maximální vzdálenosti PB, podle rozměr. uspořádání na konzole PAŘÁT-III-JB-N (v závorkách jsou hodnoty rozdílu oproti původním rovinným konzolám)

| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |          |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká  |
| 42/7 AlFe    | 139 (+12)                                                             | 96 (+6)   | 80 (-6)  |
| 70/11-1 AlFe | 152 (+2)                                                              | 123 (+1)  | 101 (-4) |
| 110/22 AlFe  | 175 (-5)                                                              | 147 (-6)  | 124 (-9) |

Konzola PAŘÁT-III-JB-N těsně nesplňuje požadavek záměnnosti ve všech případech, ale nesmí se zapomenout, že se jedná o nejlehčí konzolu ze systému PAŘÁT-III. Rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost se navíc téměř neprovádí.

V extrémních vzdálenostech se použije konzola PAŘÁT-III-DB-R, popřípadě konzoly jiného systému s většími mezifázovými vzdálenostmi a mnohem vyšší pevností.

### 3.2.3.5 Místa pro montáž izolátorů

Podle účelu podpěrného bodu musí konzola umožnit montáž příslušných typů izolátorů, které jsou uvedeny v kapitole 3.1.4. Na nosné konzoly se montují podpěrné izolátory typu VPA/VPAv, pomocí šroubu se závitem M20 viz obrázek 8.



Jelikož spojovací materiál a izolátory nejsou součástí dodávky výrobců konzol, výrobce musí respektovat zavedené délky šroubů dle standardů energetik a přizpůsobit tomu tvar konstrukce. Podle zkušeností je optimální zvolit profil o velikosti 50, 80, 90 nebo 100 mm, skrz který prochází šroub M20 délky 80, 100, 110 nebo 120 mm. Otvory pro šrouby se volí vždy o 2 mm větší než je jmenovitý průměr závitu, kvůli povlaku technologií žárového zinkování.

Konzoly rohové a kotevní jsou konstruovány tak, aby umožnily montáž kotevních izolátorů. Konstrukce musí obsahovat navařené kotevní desky (příložky), do kterých se montují kotevní klouby různých velikostí se zapřaženými kotevními izolátory. Velikosti kloubů, zavedené ve standardech energetik, jsou na obrázku č. 10. Skrz otvory v kotevních deskách o průměru 22 mm a kotevní kloub se provléká šroub se závitem M20x130, který je axiálně jištěný maticí, nebo závlačkou. Otvory na kotevních deskách musí být vzdálené od konstrukce minimálně 30 mm.

### **3.2.3.6 Technologické úpravy konzol pro zinkování**

Konzoly musí být navrženy s ohledem na korozi – s uplatněním vhodné povrchové ochrany dle EN ISO 12944 [2].

Kvůli technologii žárového zinkování konzoly nesmí obsahovat žádné uzavřené dutiny v profilech. Ani kapsy, které by mohly bránit samovolnému stékání roztaveného zinku při vynoření konzoly z vany. Pokud se naskytnou takovéto dutiny u konstrukce, musí se v daných místech provést tzv. technologickými prostřihy. Technologické prostřihy se zakreslují do výrobní dokumentace jednotlivých dílů a počítá se s nimi již od samého počátku navrhování, protože mohou zeslabit průřez základního materiálu, či průřez svarového spoje.

### **3.2.4 Technologie výroby**

Výroba konzoly se skládá z pěti výrobních fází. (výroba jednotlivých dílů, svařování technologií MAG, externí žárové zinkování, kompletace a balení). Výroba dílů sestavy spočívá v řezání polotovarů na pásových pilách. Následuje stříhání otvorů na hydraulických lisech.

Díly se mohou v lisech také ve speciálních přípravcích ohýbat. Hotové díly se shromažďují na svářečském pracovišti a naskládají se podle výrobního výkresu do přípravku, upnutém na pracovním stole. Přesně usazené dílce se k sobě nejdříve nabodují a poté se na požadovaných místech provedou svarové spoje. Svařené sestavy se přepravují do zinkovny, kde se provádí ochranný povlak technologií žárového zinkování.

Zinkované výrobky se vrací zpět do společnosti ES na pracoviště kompletace, kde se konzola opatří spojovacím materiálem. Následně se provádí balení konzol na palety a přemístění do výdejních prostorů.

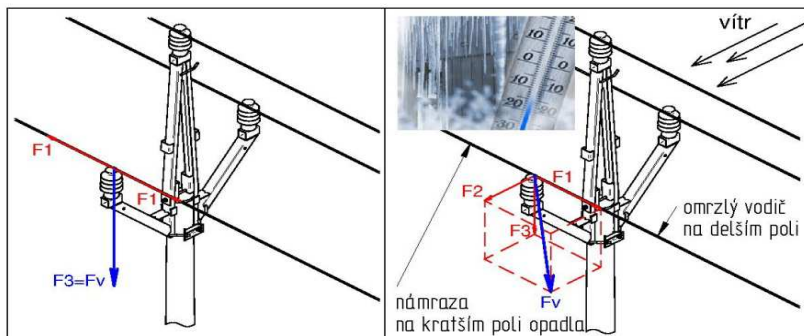
### 3.3 Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N způsobují vodiče připevněné v izolátorech. Zatížení lze zatřídit do dvou kategorií, stálé a nahodilé. Za stálé zatížení se považuje tíha vodičů z přilehlých rozpětí, tah z předpětí kotevního lana trvale kotveného podpěrného bodu při referenční teplotě a účinek tahu vodiče při referenční teplotě. Tíha samotné konzoly a izolátorů je zanedbatelná. Nahodilá zatížení způsobuje výrazná změna teploty, vítr a námraza.

Pro potřebu správného dimenzování konzoly vůči maximální provozní zatížení (nejnepříznivější kombinací všech stálých i nahodilých jevů) musí být známi následující parametry.

- Parametry nejtěžšího vodiče
- Maximální vzdálenost mezi podpěrnými body
- Nejnepříznivější uvažovaná nahodilá zatížení vodičů v podobě větru a námrazy

Provozní zatížení je způsobeno třemi složkami  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$ , viz obrázek č. 24. Síla  $F_1$  působí ve směru vedení a je způsobena stálou tahovou silou vodičů způsobenou rozdílnými délkami sousedních polí, popřípadě nahodilým zatížením v podobě nerovnoměrné námrazy na sousedních polích. Síla  $F_2$  působí kolmo na směr vedení a je způsobena větrem v témže směru. Pokud je PB v lomu trasy, přidává se ještě výslednice tahových sil. Síla  $F_3$  plyne z tíhy vodičů, jako součet polovin sousedních polí.



Obr. 24: Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-II-JB-N:  
vlevo - při rovnováze tahových sil, bez větru a námrazy, vpravo – maximální zatížení

Pro účely dimenzování konzoly se zavádí určitá zjednodušení ve výpočtech, proto se obvykle konzoly dimenzují na únosnost provozního zatížení, jehož maximum se ještě násobí koeficientem spolehlivosti. Snahou výrobce je dimenzovat konzoly tak, aby jejich pevnost nebyla nejslabším článkem podpěrného bodu. Při překročení maximálního provozního zatížení dojde s největší pravděpodobností dříve k porušení izolátorů, nebo dokonce samotných stožárů.

Společnost ES si nechalo provozní zatížení posoudit od autorizovaných projektantů a odborných zaměstnanců energetik. Vzhledem k velkému rozsahu této problematiky, se zde uvedou pouze finální vztahy s číselným dosazením. Za správnost výsledků odpovídá společnost E. ON ČR s.r.o.

Síla F3, vztažená k jednomu vodiči, se vypočte ze vztahu (3.6), pro námrazovou oblast N3.

$$F3 = a_{max} \cdot (g_c \cdot I_R) \quad (3.6)$$

kde je:

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$g_c$  tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$I_R$  referenční zatížení námrazou na jednotku délky [N/m]

Síla F2, vztažená k jednomu vodiči, se řeší vztahem (3.7), pro kategorii terénu II. a větru o síle stupně III.

$$F2 = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot a_{max} \cdot \sin^2 \beta \quad (3.7)$$

kde je:

$q_h$  dynamický tlak větru ve výšce h nad zemí [Pa]

$G_q$  poryvový součinitel [-]

$G_c$  součinitel rozpětí [-]

$d$  průměr holého, izolovaného vodiče, nebo kabelového systému [m]

$C_c$  součinitel aerodynamického odporu vodiče [-]

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$\beta$  úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče [°]

Dosazením číselných hodnot do rovnic (3.6 a 3.7) vzejdou zbývající síly F3 a F2.

$$F3 = 124 \cdot (4,8490 + 27,081) = 3,959 \text{ kN}$$

$$F2 = 563 \cdot 2,05 \cdot 0,95 \cdot 0,01496 \cdot 1,0 \cdot 175 \cdot 1,0 = 2,870 \text{ kN}$$

Síla  $F_1$ , vztažená k jednomu vodiči, byla po dohodě s uživateli stanovena na hodnotu 3 kN. V praxi se zjistilo, že při opadnutí námrazy na jednom nejdelším možném poli v námrazové oblasti N3, vznikne nahodilá síla  $F_1=2,641$  kN.

### **3.4 Výpočet pevnosti konzoly VN**

#### **3.4.1 Normy a předpisy pro výpočet pevnosti**

V současné době pro výpočet pevnosti stavebních konstrukcí platí tzv. Eurokódy, které jsou začleněné do systému ČSN [3]. Únosnost staticky zatížených svařovaných ocelových konstrukcí se nachází v následujících normách:

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1993 (Eurokód 3) Navrhování ocelových konstrukcí
  - ČSN EN 1993-1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
  - ČSN EN 1993-1-8 Navrhování styčníků

#### **3.4.2 Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce**

Pro ocelové konstrukce se použije rovnice (3.8) z EN 1990, z které se stanoví návrhová únosnost základního materiálu svařované ocelové konstrukce [4]:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (3.8)$$

kde je:

$R_d$       Návrhová únosnost základního materiálu [MPa]  
 $R_k$       Dolní mez kluzu základního materiálu [MPa]  
 $\gamma_M$       dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]

Hodnota návrhové únosnosti zvoleného materiálu, nesmí být v žádném místě při působení maximálního provozního zatížení překročena, pak platí vztah (3.9).

$$\sigma_{max} \leq R_d \quad (3.9)$$

kde je:

$\sigma_{max}$       maximální naměřené napětí [MPa]

### 3.4.3 Návrhová únosnost svarových spojů

Ustanovení této kapitoly se vztahují na svařitelné konstrukční oceli s tloušťkou materiálu 4mm a více, které odpovídají EN 1993-1-1. Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou obdobné vlastnostem základního materiálu. Svary v tenčích materiálech mají splňovat EN 1993-1-3 a svary konstrukčních dutých průřezů s tloušťkou materiálu 2,5mm a více se řídí kapitolou 7 této normy. Obvykle se požaduje kvalita svaru C podle EN ISO 25817, není-li uvedeno jinak [4].

#### 3.4.3.1 Návrhová únosnost koutových svarových spojů

Návrhová únosnost koutového svaru se má určit buď metodou uvažující směr namáhání, která je uvedena, nebo zjednodušenou metodou. V této práci bude aplikována zjednodušená metoda, ve které se stanoví návrhová pevnost svaru ve smyku  $f_{vw,d}$  ze vztahu (3.10) [5]:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (3.10)$$

kde je:

$f_u$  Jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu [MPa]

$\beta_w$  Korelační součinitel podle tabulky [-]

$\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti svaru [-]

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech pevnostní podmínka (3.11):

$$\sigma_{max} \leq f_{vw,d} \quad (3.11)$$

kde je:

$\sigma_{max}$  maximální naměřené napětí [MPa]

#### 3.4.3.2 Návrhová únosnost tupých svarových spojů

Návrhová únosnost s plným provařením se má uvažovat stejná jako návrhová únosnost slabší ze spojovaných částí za předpokladu, že je svar proveden vhodným přídatným materiálem, který zajistí v celé oblasti svaru mez kluzu a pevnost ne menší, než jaká je požadovaná pro základní materiál [5].

### 3.4.4 Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation

Solid Edge Simulation je nadstavbový modul CAD Solid Edge, jako funkce pro analýzu metodou konečných prvků na bázi řešiče NX Nastran (používá jej ve svém vývoji například NASA). Modul Simulation byl navržen specificky pro inženýry a vývojáře/analytiku, kteří používají Solid Edge pro tvorbu modelů a technické dokumentace. V režimu Simulation se pomocí analýzy MKP vizualizuje přetvoření zatížené konstrukce, nebo hodnoty napětí a jiných zkoumaných veličin. Výsledky simulace omezují nutnost použití reálných prototyp, pomáhají snižovat hmotnost, množství potřebných materiálů a tím i cenu konstrukce [8].

Analýza MKP umožňuje konstrukci, vylepšení a optimalizaci celých návrhů ještě před jejich uvedením do výroby. Tím se zkracuje doba nutná k uvedení produktu na trh a snižují se náklady na přepracování [9].

Modul Simulation poskytuje pevnostní analýzu svařované ocelové konstrukce, vytvořené v prostředí sestavy modeláře Solid Edge. Sestava je řešena jako jedna geometrie, složená z objemových regionů jednotlivých dílců, jejichž objemy jsou vzájemně pevně spojeny. Alternativní řešení je vytvořit ocelovou konstrukci, jako jeden dílec.

Cílem pevnostní analýzy svařovaných ocelových konstrukcí je stanovení dovoleného napětí pro použitý materiál. Přitom se nesmí opomenout tepelné ovlivnění základního materiálu konstrukce, během procesu svařování.

#### 3.4.4.1 Tvorba modelu sestavy v Solid Edge

Před tvorbou sestavy, která bude podrobena pevnostní analýzou, se vytvoří všechny samostatné díly sestavy. Díly mohou být typu objemové součásti, nebo plechového dílu. K jednotlivým dílům se přiřadí jejich materiálové vlastnosti a uloží se jako samostatné soubory. V režimu sestavy se vymodelované díly načtou a patřičnými vazbami spojí do jednoho celku. Výsledná geometrie sestavy by měla odpovídat co nejbližší reálné konstrukci.

Pro objektivní a rychlé provedení analýzy se provádí některá zjednodušení. Čím více bude geometrie modelu tvarově složitější, tím snáze mohou nastat problémy s vyhodnocením analýzy. Z modelu by se proto měly vyřadit prvky, které nemají zásadní vliv na posuzování pevnosti konstrukce, jako např. některé díry, zaoblení hran, doplňující prvky které nepřenáší napětí apod.

U modelu svařované ocelové konstrukce jsou častými jevy ostré přechody mezi jednotlivými díly sestavy. Ostré přechody vznikají i mezi díly a svarovým kovem a jsou koncentrátoři napětí.

### 3.4.4.2 Postup tvorby analýzy v Solid Edge Simulation

Pokud je připravený model sestavy, přejde se v Solid Edge do režimu Simulation, kde se zvolí potřebné parametry studie. Na výběr jsou tři hlavní typy studií:

- Lineární statika
- Modální analýza
- Vzpěrná analýza

Pro statickou analýzu pevnosti se použije lineární statika. Objem modelu se nahradí příslušným typem sítě:

- Čtyřstěnná
- Plošná
- Kombinovaná

Typ a jemnost sítě se volí podle charakteru konstrukce. Pro analýzu modelu konzoly se zvolí lineární statika a čtyřstěnná síť. Dále se definuje geometrie, zatížení, omezení, síť a spoje, dle nabídek.

Čím jemnější bude struktura sítě, tím přesnější bude výsledek napjatosti, ovšem pro rozměrově velké konstrukce to může znamenat časovou náročnost výpočtu. Optimální síť dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel.

Dále se definuje zatížení reprezentované silou, např. o velikosti 1kN, která bude působit na konci nosníku z horního otvoru vertikálně dolů. Ve finále se nastaví síť modelu, jejíž struktura se volí podle charakteru modelu. Čím jemnější síť nastavíme, tím přesnější můžeme očekávat výsledek analýzy. Zbytečně jemná síť pro velké prvky, zase zbytečně prodlužuje výpočet.

Optimální parametry sítě dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel. Po nastavení sítě se musí vazby mezi jednotlivými dílci nahradit virtuálními spoji, které budou v analýze reprezentovat svarové spoje. Jelikož materiál svarového kovu má větší mez kluzu než materiál konstrukce, tuhost spojů modelu se bude uvažovat jako dokonale tuhá.

Nakonec se odeberou modelu všechny stupně volnosti a nastaví se provozní zatížení. Pokud hraje velkou roli i vlastní tíha konstrukce, nastaví se velikost a směr gravitační síly. U konstrukcí může hrát velkou roli i změna teploty okolního prostředí, Simulation nastavení teploty prostředí v analýze umožňuje.

### 3.4.4.3 Výsledky analýzy

Analýza umožňuje vypracovat následující výsledky:

- Výsledky posunutí (přetvoření)
- Výsledky napětí (normálové, smykové, von Mises apod.)
- Koeficient bezpečnosti modelu

## 3.5 Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES

Ve společnosti ES se funkčnost a pevnost konzol ověřuje zatěžovací zkouškou únosnosti, která se řídí normou ČSN 73 2030 [6]. Zkouška probíhá na reálně zhotoveném prototypu, který se upne na zkušební zkrácený betonový sloup. Na příslušná místa konzoly se připevní lano, jehož druhý konec se připojí do dynamometru. Dynamometr je zapřažen za hák jeřábu, který konstrukci postupně zatěžuje podle zatěžovacího diagramu. Výsledkem zkoušky je hodnota zatížení v požadovaném směru, při které dojde k překročení meze únosnosti konstrukce (výskyt trvalých plastických deformací, ztráta stability apod.).

### 3.5.1 Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030

#### 3.5.1.1 Účel zatěžovacích zkoušek

Účelem zatěžovací zkoušky je [6]:

- posoudit spolehlivost konstrukce, pokud toto posouzení je předepsáno v systému, kterým se zajišťuje spolehlivost konstrukcí,
- ověřit výpočtové modely, pokud je pochybnost, že použité výpočtové modely nejsou dostatečně výstižné

#### 3.5.1.2 Druhy zatěžovacích zkoušek

Z hlediska způsobu vyhodnocení se zatěžovací zkoušky dělí na [6]:

- Zatěžovací zkoušky prováděné do dosažení únosnosti konstrukce
- Zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti konstrukce

Z hlediska účelu se zatěžovací zkoušky dělí [6]:

- Průkazní, popř. prototypové zkoušky, sloužící k ověření spolehlivosti před zahájením výroby konstrukcí
- Kontrolní výrobní zkoušky, sloužící k prověření spolehlivosti v průběhu, nebo po dokončení výroby konstrukcí



### 3.5.1.3 Provádění zatěžovacích zkoušek

Zkoušky se provádí v takových podmínkách, které se co nejvíce přibližují podmínkám působícím v provozu. Při zatěžovací zkoušce se postupně zvyšuje zatížení na konstrukci a měří se odezva konstrukce. Konstrukce se zatěžuje podle předem stanoveného zatěžovacího postupu [6].

### 3.5.1.4 Základní zatěžovací postup

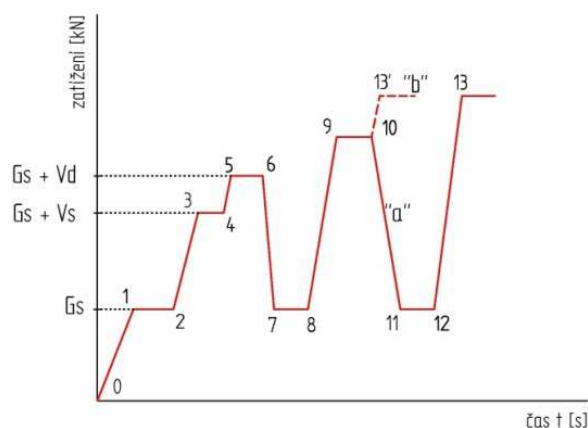
Níže popsáný zatěžovací postup je znázorněn na obrázku č. 25 [6].

- a) Konstrukce, která je při začátku zkoušky zatížena vlastní tíhou, popřípadě tíhou zkušebního zařízení se zatíží na hodnotu  $G_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého zatížení (bod 1).
- b) Po ustálení přetvoření (bod 2) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého a nahodilého zatížení (bod 3).
- c) Po ustálení přetvoření (bod 4) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_d$ , která odpovídá součtu provozní hodnoty stálého zatížení a extrémní hodnoty nahodilého zatížení (bod 5).
- d) Po ustálení přetvoření (bod 6) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 7).
- e) Po ustálení přetvoření (bod 8) se zatížení zvýší na hodnotu, která je podle povahy případu o 10 až 20 % vyšší než hodnota  $G_S + V_d$  (bod 9).
- f) Po ustálení přetvoření (bod 10) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 11) a opět se zjistí velikost přetvoření (bod 12 - větev „a“)
- g) Při dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 až 12 s tím, že při každém zatěžovacím cyklu se zatížení zvýší o dalších 10 až 20 % z hodnoty  $G_S + V_d$ .

V odůvodněných případech je možno zkoušku provést tak, že v bodě 10 se konstrukce neodlehčuje a zatížení se postupně při každém zatěžovacím stupni zvýší o 10 až 20% z hodnoty  $G_S + V_d$  (větev „b“) [6].

Zatěžovací postup při zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce se provádí podle základního zatěžovacího postupu. Dosažením únosnosti konstrukce je zkouška ukončena [6].

Zatěžovací postup při zkoušce bez dosažení únosnosti konstrukce se postupuje jen do bodu 8 dle základního zatěžovacího postupu, kdy je zkouška ukončena, nebo se opakuje se zpřísněnými kritérii [6].



Obr. 25: Základní zatěžovací postup

### 3.5.1.5 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Při vyhodnocení se zatěžovací zkoušky se zkoušená konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti. Při zatěžovací zkoušce, je zkoušená konstrukce spolehlivá z hlediska mezního stavu únosnosti splňuje-li zároveň tato kritéria [6]:

- Experimentální hodnota únosnosti je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$
- Při zatížení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S + V_d$  a následném odlehčení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S$  (body 6 a 8 základního zatěžovacího postupu), je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením menší než  $\lambda_I$ .

Za dosažení únosnosti ocelové konstrukce při zatěžovací zkoušce se považuje [6]:

- Ztráta stability
- Neustálé přetváření konstrukce při konstantním zatížení
- Trhliny ve stycích a ostatních prvcích
- Prokluz třecích spojů
- U ohýbaných prvků průhyb větší než 1/50 rozpětí
- Jiná porušení konstrukce

Součinitel spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro prvky porušené ohybem:  $\gamma_{exp}=1,3$
- Pro prvky porušené tlakem popř. jinak:  $\gamma_{exp}=1,5$

Součinitel přetvoření  $\lambda_I$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro svařované konstrukce  $\lambda_I = 0,10$
- Pro nýtované konstrukce  $\lambda_I = 0,12$
- Pro šroubované konstrukce  $\lambda_I = 0,10$

Mez únosnosti konzoly musí nastat při zatížení větším nebo rovno, výslednému maximálního provozního zatížení násobeného součinitelem spolehlivosti zkoušení  $Y_{exp}$ .

Při zatěžovací zkoušce vrcholové konzoly se dále vizuálně kontroluje usmýknutí konzoly na betonovém sloupu, celková deformace konzoly, olupování vrstvy zinku následkem deformací a praskliny ve svarových spojích.

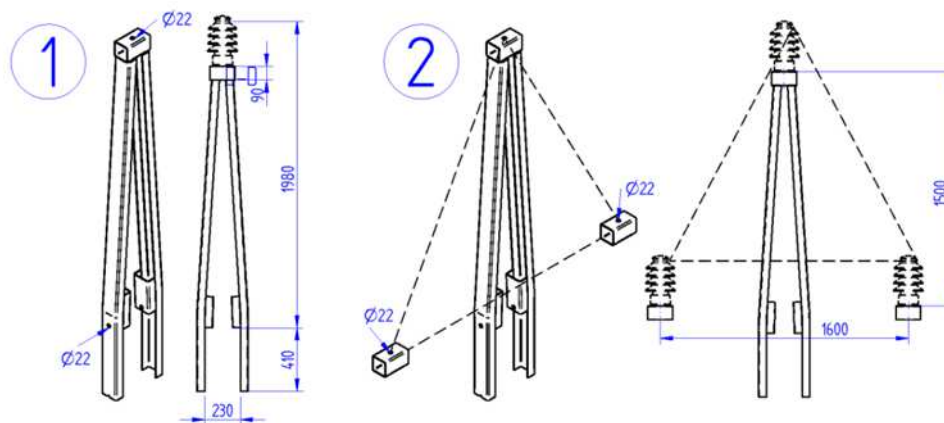
Výstupním dokumentem zatěžovací zkoušky je protokol o zkoušce únosnosti, který obsahuje veškerá naměřená data a vyhodnocení zkoušky.

Měřícím zařízením zatěžovací zkoušky je jeřábová váha typu OCS-A s výrobním číslem 1105-A3t-01, jejíž poslední kalibrace se provedla 8. 9. 2011 autorizovanou společností Lesák-Zeman.

## 4 Experimentální část

### 4.1 Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Konzola musí splnit veškeré požadavky, které jsou uvedené v kapitole 3.2. Geometrie konzoly vychází z požadovaného rozměrového uspořádání vodičů na konzole.



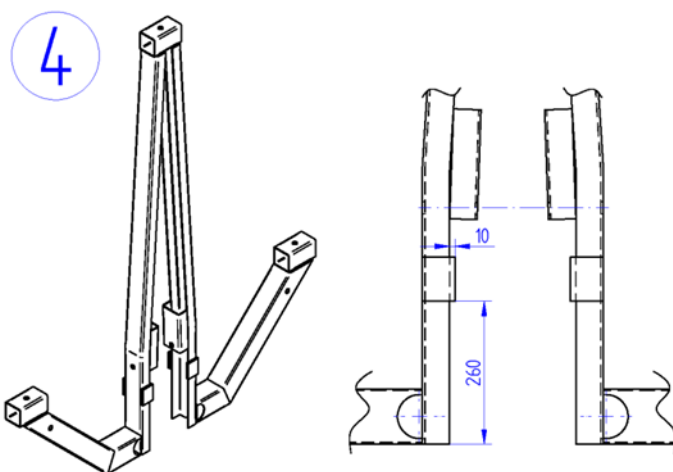
Obr. 26: Návrh středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Střední rameno je konstruováno tak, aby drželo horní fázi linky VN ve výšce 1980 mm nad hlavou betonového sloupu. Středové rameno se skládá ze dvou jeklů tvaru U100x50x5, které jsou v horním konci přivařené k uzavřenému čtvercovému jecku 90x90x5, nazývanému hlavou. Hlava obsahuje průchozí otvor o průměru 22 mm, pro montáž nosného izolátoru šroubem M20. Dolní konce mezi sebou tvoří mezeru o velikosti 230 mm.

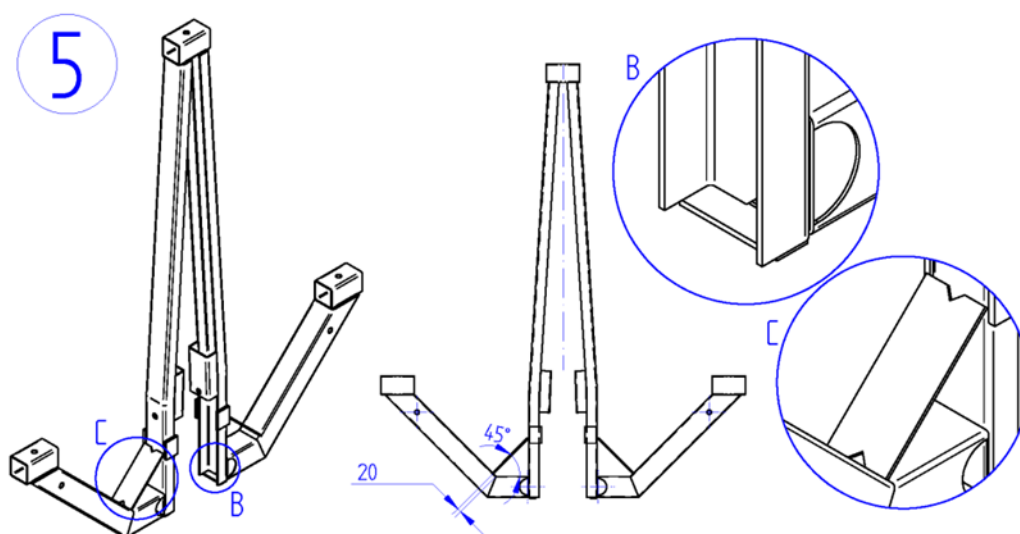
Střední rameno se může mírně roztahovat a stahovat na průměr hlavy betonového sloupu od 180 do 250 mm, aniž by docházelo k popraskání svarových spojů. Z vnitřní strany středového ramena jsou navařené podpěry, které se budou shora opírat o hlavu sloupu, zároveň budou sloužit jako držáky plastové čepice, zabraňující zatékání do vnitřní dutiny sloupu. Skrze podpěry a středové rameno bude procházet průchozí otvor o průměru 22 mm, pro svorník M20.

Konstrukce bočních ramen musí splnit požadovanou vertikální i horizontální mezifázovou vzdálenost mezi vodiči, viz obrázek č. 23 v kapitole 3.2.3.3. Tvarově výhodné je použít v místě upnutí bočních nosných izolátorů stejný prvek jako na horním konci středního ramena. Boční rameno je složeno ze třech dílů. Aby byla co nejlehčí a jejich výroba co nejjednodušší, použijí se uzavřené čtvercové ječky 100x100x3, které se řezou pod úhlem 45°.

Na středové rameno jsou navařené čtyři opěrné desky, které plní funkci zařezávání do betonového sloupu. Desky vystupují 10 mm od středového ramena a jsou vzdálené od spodní části konzoly 260 mm, aby se konzola ve spodní části dotýkala konického sloupu.



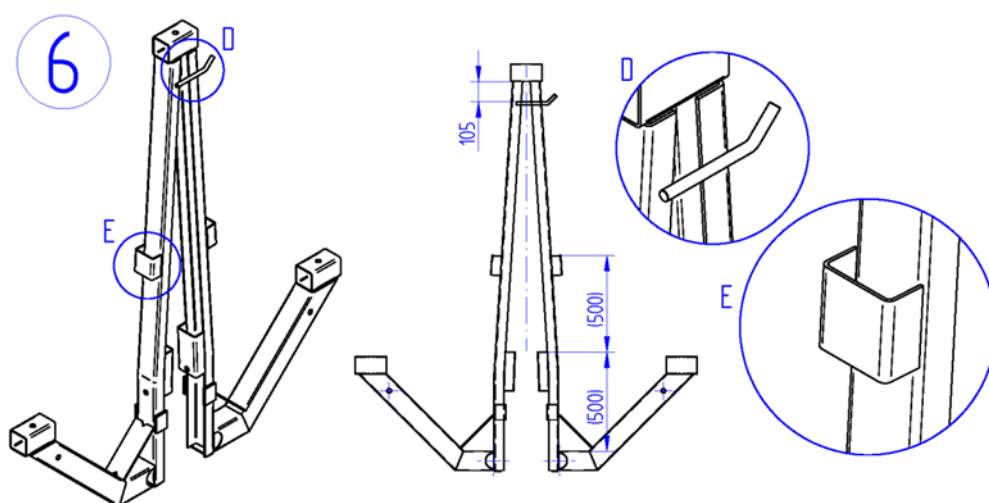
Strana 51



Obr. 29: Návrh výztuhy bočních ramen PARÁT-III-JB-N

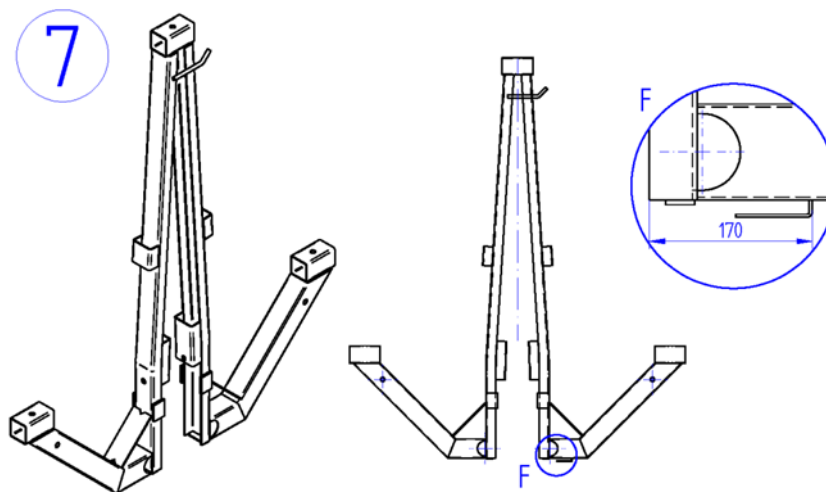
Na vnější strany středového ramena jsou navařeny držáky stupaček, do nichž se zasunují montážní stupačky přizpůsobeného tvaru, viz detail E na obrázku č. 32. Koncepte výstupu na konzoly je tvořena systematicky tak, aby každá další nášlapná plocha tvořila krok maximálně po 500 mm. Montér, který se postaví na montážní stupačku, zasunutou v držáku stupačky, má izolátory v úrovni ramen.

Konzola musí splnit bezpečnost práce ve výšce. Podle ustanovení §50, vyhlášky č. 324/90 Sb., musí být pracovník zajištěn proti pádu osobním zajištěním (bezpečnostním postrojem). K tomu slouží kotevní úchyt, za který lze zakotvit karabinu. Volný konec kotevního úchytu je navíc ohnutý směrem nahoru a tvoří žlábek, do kterého lze dočasně položit vodič z horní fáze při výměně izolátoru viz detail D na obrázku č. 30.



Obr. 30: Návrh držáku stupačky a kotevního úchytu PARÁT-III-JB-N

Každá konzola vysokého napětí musí obsahovat přípojně místo pro uzemnění. Společnost ES řeší přípojně místo navařeným tvarovaným zemnicím páskem o velikosti profilu 30x3 viz obrázek č. 31. Uzemnění se provede přivedením hlavního ochranného vodiče (FeZn 30/4) na zemnicí pásek a sevření křížovou svorkou.



Obr. 31: Návrh přípojněho místa pro uzemnění PARÁT-III-JB-N

Konzola PARÁT-III-JB-N v této fázi splňuje všechny konstrukční požadavky a je zapotřebí ověřit její pevnost a funkčnost.

## 4.2 Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation

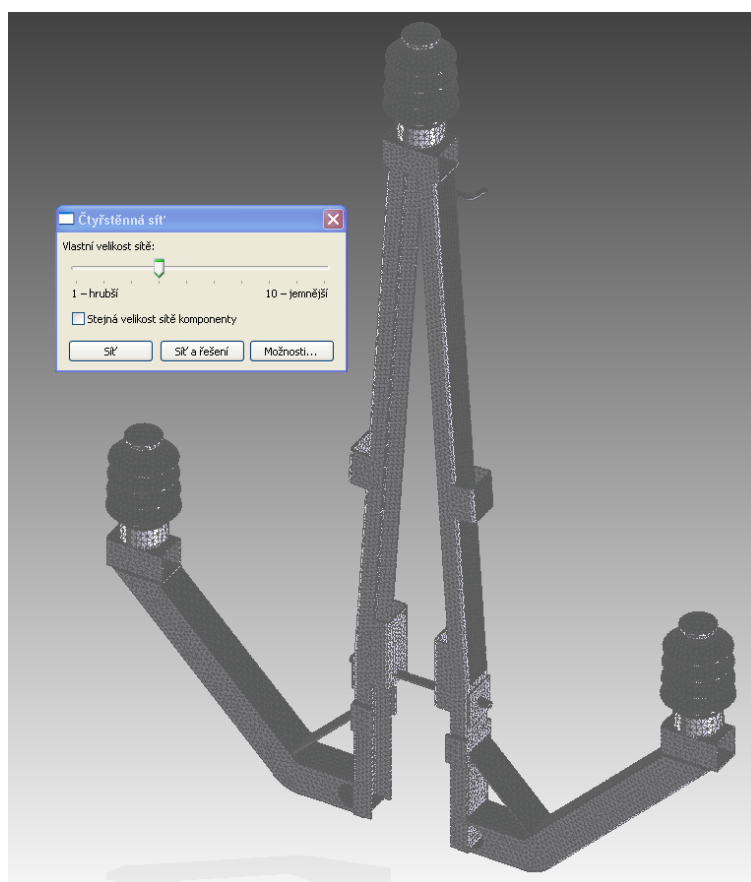
V režimu sestavy (assembly) základního modeláře Solid Edge ST4 je vytvořena konzola PARÁT-III-JB-N. Konzola v režimu sestavy obsahuje velké množství nevyhnutelných ostrých přechodů mezi jednotlivými tvary dílců, ve kterých se koncentruje napětí. V režimu sestavy je navíc velice obtížné modelovat objemy svarů, které tyto ostré přechody zmírní. Pevnostní analýza neumí řešit usmýknutí konzoly na konickém betonovém sloupu, bude proto použita pouze jako nástroj pro zjištění napětí a deformace v konzole.

Pro získání přesnějších výsledků je vytvořen náhradní jednodílný model konzoly v režimu „part“, ve kterém se zaoblí přechody mezi díly. Zaoblení bude zároveň představovat v některých místech i koutové svary. Za účelem zrychlení výpočtu se v analýze nezohlední stavitelná třmenová objímka. Konzole jsou odebrány všechny stupně volnosti na plochách opěrných destiček, kde jsou ve skutečnosti zařízle do betonového sloupu. Druhé omezení je provedeno na spodních plochách profilů, které se ve skutečnosti opírají o betonový sloup. Svorník, který svírá nad hlavou sloupu středové rameno, je pro zjednodušení výpočtu nahrazen navařenou tyčí stejného průměru. Pevnostní analýzy se provedly v krocích podle tabulky č. 11.

Ve všech analýzách je zohledněno působení gravitační síly  $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a teplota okolí  $T=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 11 – Program pevnostních analýz konzoly PAŘÁT-III-JB-N

| Číslo analýzy | Popis zkoušky                                                                    | Velikost a směr provozní zatížení   |                                                                  |                                                                        |                                                                 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|               |                                                                                  | Zatížení vodičem<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(odloženým vodičem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>Držáku stupáčky<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] |
| A-01          | zatížení bočního ramena vodičem                                                  | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-02          | zatížení středního ramena vodičem                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-03          | zatížení všech třech ramen vodiči                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-04          | zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem                                  | 0                                   | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-05          | zatížení kotevního úchytu odloženým vodičem                                      | 0                                   | 0                                                                | 0, 0, 7                                                                | 0                                                               |
| A-06          | zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka                                        | 0                                   | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |
| A-07          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem | 3, 3, 7                             | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-08          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka       | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |



Obr. 32: Výpočtový model konzoly PAŘÁT-III-JB-N

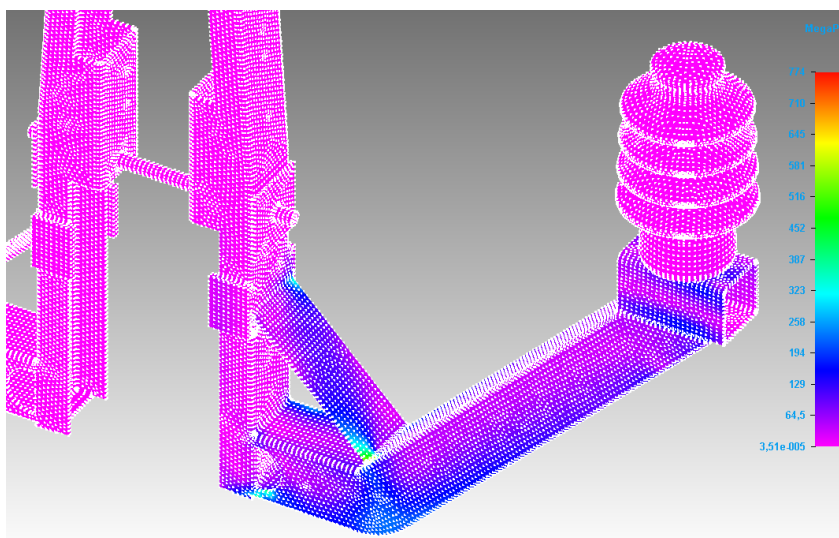


U všech analýz se nastavil typ studie na lineární statiku. Výpočtový model je složen z čtyřstěnného typu sítě viz obr. 32. Síť modelu obsahuje 118 186 elementů a 220 845 uzlů. Subjektivní velikost sítě byla stanovena na velikost 4 (stupnice 1-10, 10 - nejjemnější). Modelu byl přiřazen materiál S235JR se stanovenou minimální mezí kluzu  $R_e=235$  MPa a mezí pevnosti  $R_m=360$ MPa. Model obsahuje podpěrné izolátory typu VPA, v jejichž krčkách jsou připevněné vodiče. Z těchto krčků budou působit jednotlivé síly provozního zatížení do příslušných směrů. Z praxe je zjištěno, že síla F2 je rizikovější při působení směrem od osy sloupu ven. V analýze A-01 se proto směr této síly respektuje, kdežto v analýze A-03, A-07 a A-08 bude na jednom bočním ramenu působit síla F2 od sloupu a na druhém bočním ramenu k ose sloupu. Keramické izolátory VPA figurují v analýze jako dokonale tuhé prvky.

Analýza A-01 samostatně zatíženého bočního ramena maximálním provozním zatížením vykazala i přes veškerou snahu vymodelovat co nejhladší přechody mezi jednotlivými díly sestavy mnoho míst s výskytem zvýšené koncentrace napětí (vruby). V těchto místech je výrazně překročena mez kluzu. Při porovnání nejvyšší naměřené hodnoty napětí s vypočtenou návrhovou únosností základního materiálu (nebo návrhovou únosností koutového svarového spoje), se tyto špičky napětí v centrech výskytů vrubů pominou. Nejvíce namáhanými místy bočního ramena je spoj mezi výztuhou a šikmým ramenem, a také spoj mezi profilem středního ramena a výztuhou. Vysoká koncentrace napětí je i ve spodní části prostřihu bočního ramena.

Výsledky pevnostní analýzy A-01:

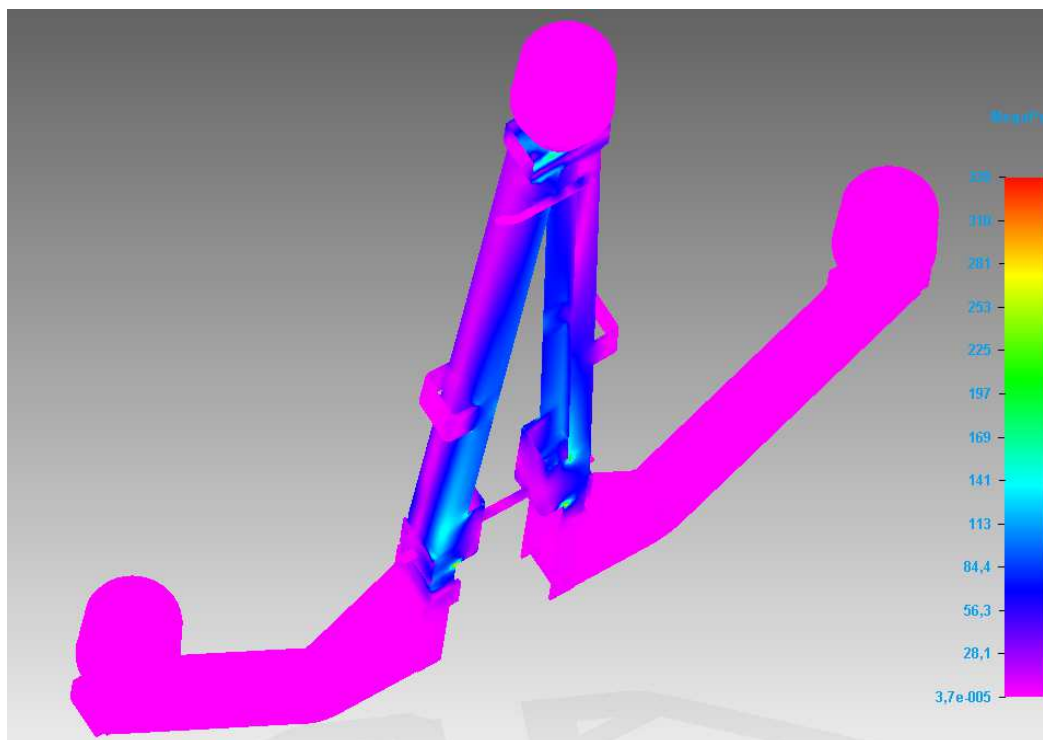
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 774 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku izolátoru: 12,7 mm



Obr. 33: Analýza napětí A-01

Výsledky pevnostní analýzy A-02:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 338 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 145 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm

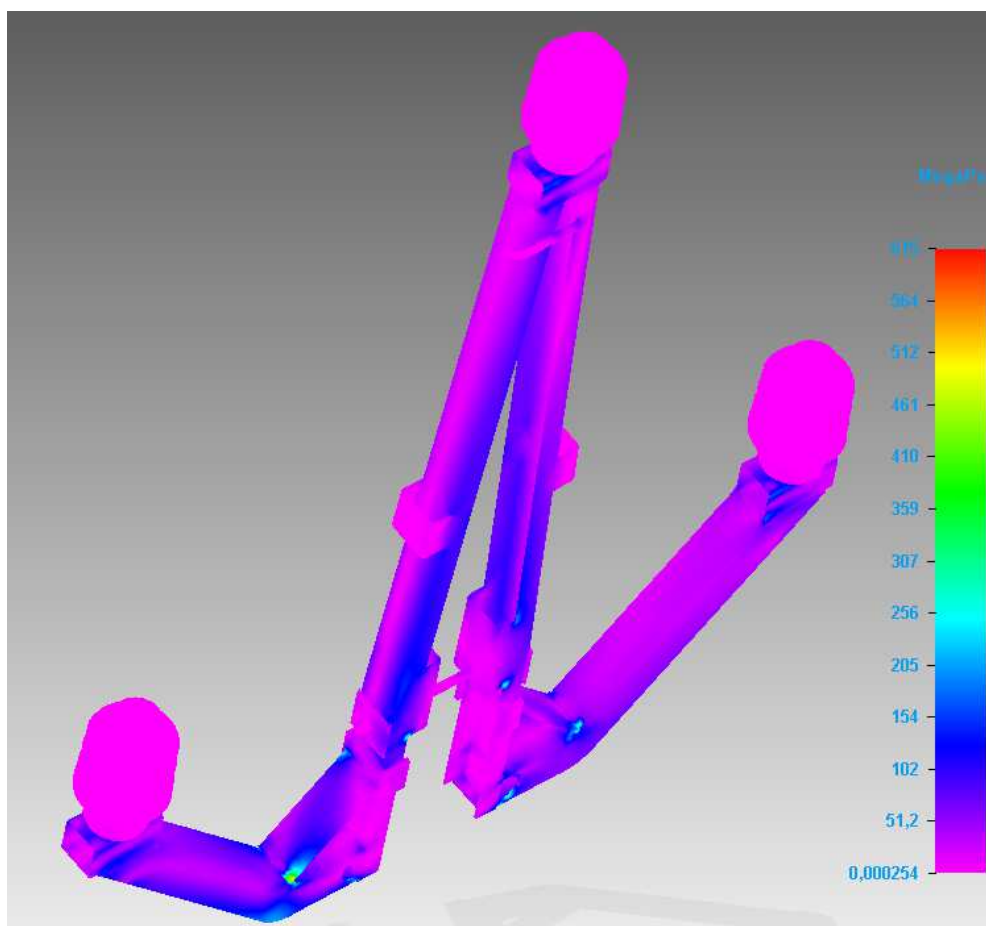


Obr. 34: Analýza napětí A-02

Z výsledků analýzy A-02 (obrázek č. 34) je patrné, že střední rameno není zdaleka tak namáhané jako rameno boční, vyplývá to z použitých silnějších profilů. Střední rameno je složeno ze dvou otevřených jeklů U100x50x5, kdežto boční rameno je pouze z jednoho čtvercového uzavřeného jeklu 100x100x3. Velký význam má i síla ve směru F3, která ve středovém rameni působí do osy sloupu a namáhá rameno pouze na tzv. vzpěr, kdežto u bočního ramena tato síla tvoří velký ohybový moment. Středové rameno je delší než boční a proto dovoluje i větší průhyb, aniž by se překročila mez kluzu materiálu. Z výsledků A-01 a A-02 je dále zajímavé, že napjatost zatíženého bočního ramena téměř nezasahuje do středového ramena a naopak. Z toho plyne, že boční a střední rameno tvoří dva nezávislé okruhy, které se mohou řešit téměř individuálně.

Výsledky pevnostní analýzy A-03:

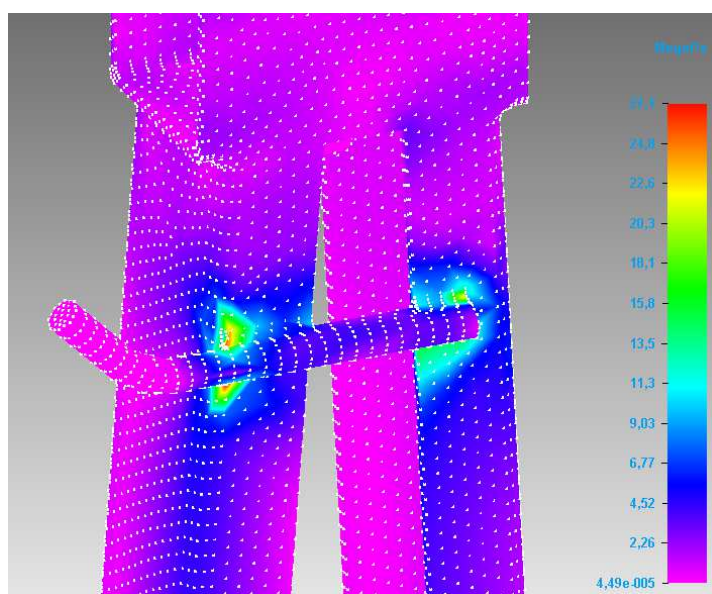
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm



Obr. 35: Analýza napětí A-03

Výsledky pevnostní analýzy A-04:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 27,1 MPa
- Maximální posunutí kotevního úchytu: 0,331 mm

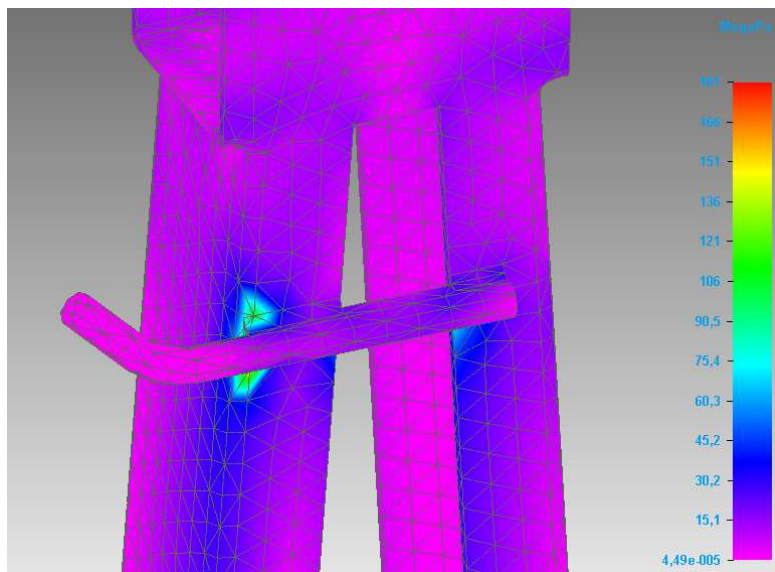


Obr. 36: Analýza napětí A-04

Při osobním zajištění pracovníka o maximální hmotnosti 150 Kg, je vyvinuta na kotevní úchyt síla o velikosti 1,5kN, působící vertikálně ve směru gravitační síly. Z výsledků analýzy A-04 na obrázku č. 36 je patrné, že kotevní úchyt z tvarované tyče o průměru 16mm je dimenzován pro tento účel dostatečně.

Výsledky pevnostní analýzy A-05:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 181 MPa
- Maximální posunutí volného konce kotevního úchytu: 1,12 mm



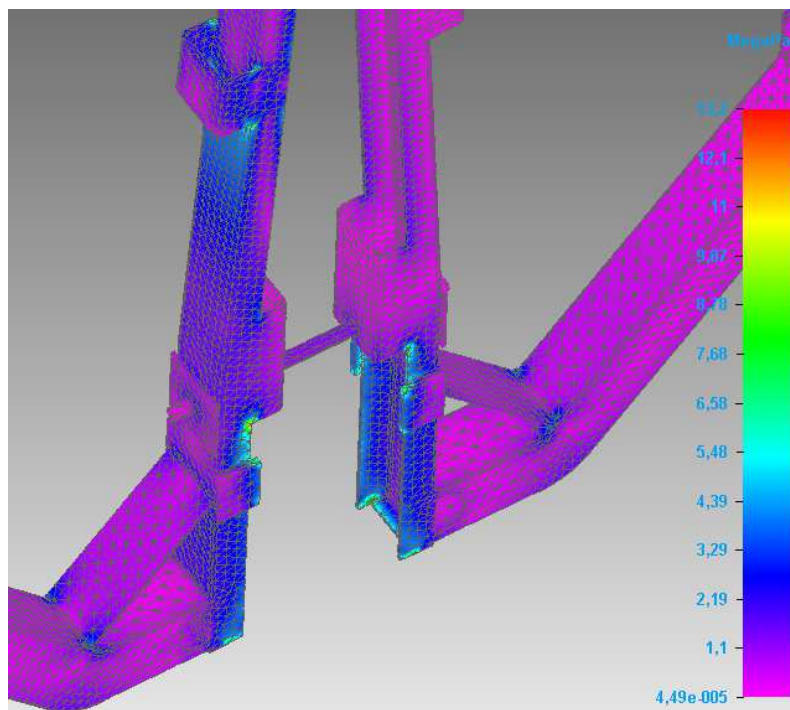
Obr. 37: Analýza napětí A-05

Kotevní úchyt plní ještě druhou funkci, jeho zahnutý volný konec tvoří otevřený hák, do kterého se při výměně poškozeného izolátoru dočasně odkládá vodič. Volný konec kotevního úchytu může být zatížen maximální silou  $F_3=7\text{kN}$ . (V praxi tento vodič při výměně nebude omrzlý, námraza se shazuje). Ostatní síly se neuvažují. Výsledek analýzy napětí A-05 zatíženého kotevního úchytu odloženým vodičem je na obrázku č. 37.

V analýze A-06 se zatížil držák stupačky vertikální silou  $F_3=1,5\text{ kN}$ , od hmotnosti pracovníka 150 Kg. Tato síla vyvolává napětí o velikosti 13,2 MPa. Napjatost způsobuje zanedbatelně velikou deformaci 0,09 mm, viz obr. 38.

Výsledky pevnostní analýzy A-06:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 13,2 MPa
- Maximální posunutí: 0,09 mm



Obr. 38: Analýza napětí A-06

Analýza A-07 (obr. 39) simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-04, která je sice v praxi téměř vyloučená, ale pro zajímavost je zde uvedena. Při uvažované výměně izolátoru je jisté, že před výstupem pracovníka na konzolu se případná námraza na vodičích z okolních polí shodí, tím klesnou hodnoty tíhy vodičů F3. Při extrémních nahodilých zatížení v podobě silného větru se navíc takovéto práce z bezpečnostního hlediska nevykonávají.

Výsledky pevnostní analýzy A-07:

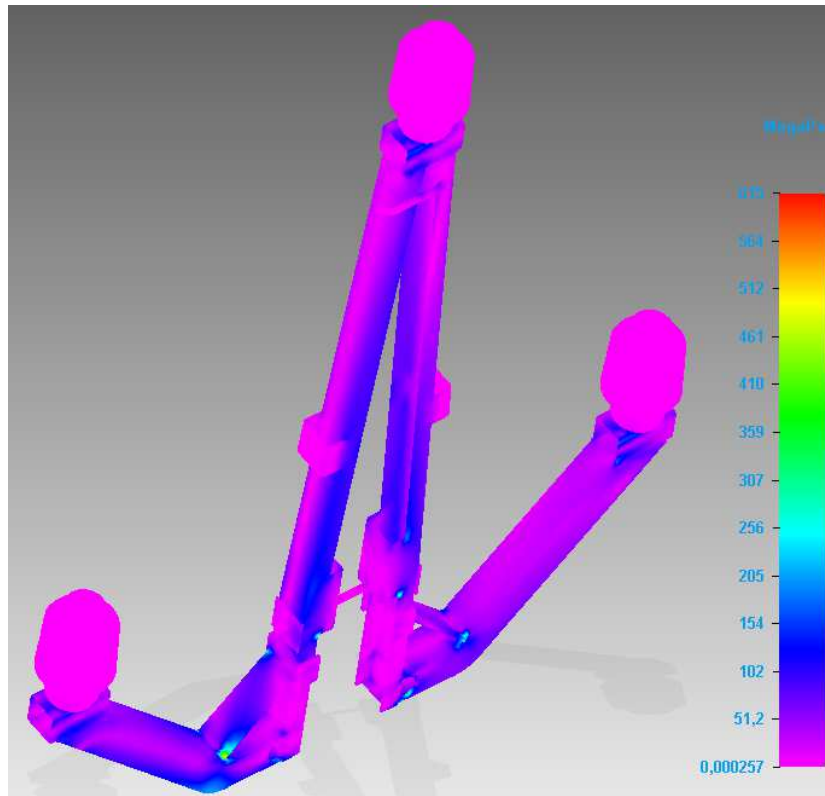
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,7 mm

Poslední analýza A-08 simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-06, která je rovněž v praxi vyloučená. Pracovník bude na konzolu vystupovat kvůli výměně izolátoru až po opadané námraze na vodičích ze sousedních polí. Silný vítr je nepřipustný.

Výsledky pevnostní analýzy A-08:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,4 mm





Obr. 39: Analýza napětí A-07

Po provedení analýz jsou známy hodnoty posunutí (přetvoření) a napjatost konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Nyní zbývá vypočítat dovolené návrhové únosnosti jak použitého základního materiálu S235, tak i materiálu svarového kovu koutových svarových spojů.

### 4.3 Výpočet návrhové únosnosti

#### 4.3.1 Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR

Návrhová únosnost použitého základního materiálu konstrukce S235JR se vypočte podle vztahu (3.8). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_M$  je zvolen podle normy ČSN EN 1993-1-1.

- Návrhová únosnost materiálu S235:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{235}{1,00} = 235 \text{ MPa}$$

kde je:

- dolní mez kluzu oceli S235JR:  $R_k=235 \text{ [MPa]}$
- dílčí součinitel spolehlivosti materiálu:  $\gamma_M=1,00 \text{ [-]}$

### 4.3.2 Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru

Návrhová únosnost koutových svarových spojů se vypočte podle vztahu (3.10). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_{M2}$  a korelační součinitel  $\beta_w$  jsou zvoleny podle normy ČSN EN 1993-1-8.

Návrhová pevnost koutového svaru ve smyku:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207 \text{ MPa}$$

kde je:

- |                                                       |                        |
|-------------------------------------------------------|------------------------|
| - jmen. hodnota meze pevnosti v tahu pro ocel S235JR: | $f_u=360$ [MPa]        |
| - korelační součinitel pro ocel S235:                 | $\beta_w=0,8$ [-]      |
| - dílčí součinitel spolehlivosti (únosnosti svaru)    | $\gamma_{M2}=1,25$ [-] |

## 4.4 Ověření funkčnosti

Podle výrobní dokumentace konzoly PAŘÁT-III-JB-N (příloha č. 3 až 19) byl vyroben reálný prototyp, na kterém se provedla zatěžovací zkouška únosnosti, podle metodiky ověřování funkčnosti ve společnosti ES. Zatěžovací zkouška únosnosti je řízena normou ČSN EN 73 2030.

### 4.4.1 Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti

Prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N se upnul na zkrácený betonový sloup, umístěný ve zkušebním polygonu. Vzhledem k omezenému počtu měřicího zařízení (jeřábová váha – 1 kus) a k omezenému nastavení směru provozního zatížení na zkušebně, se musela provést určité opatření.

- Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil.

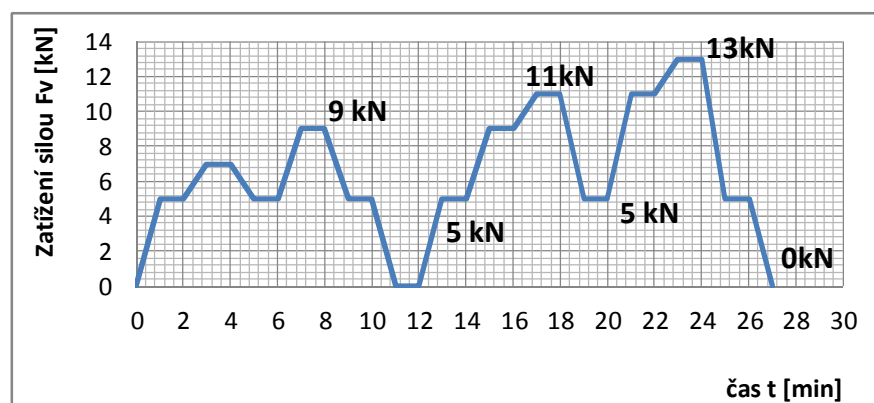
$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 7^2} = 8,2 \text{ kN}$$

- Konzola se umístila spolu s kladkami tak, aby natažené lano od izolátoru příslušného ramena směrem ke kladce simulovalo směr výsledného zatížení  $F_v$ .
- Není umožněno zatěžovat všechny tři ramena najednou, zkoušky únosnosti se proto rozdělí na jednotlivé etapy, ve kterých se bude měřit pouze jedno příslušné místo.

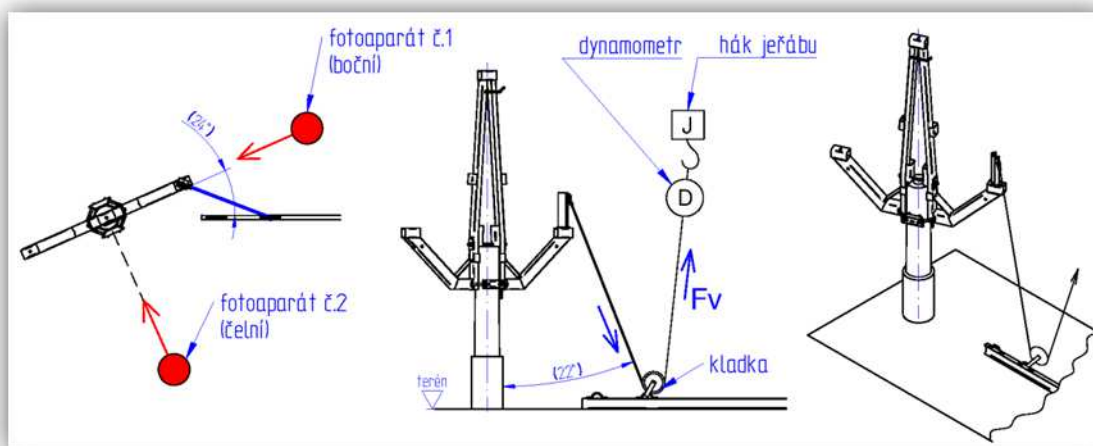
Podle výsledků pevnostní analýzy v softwaru Simulation, je důležité se zaměřit především na zatížení bočního ramena a středního ramena. Zatěžovací zkoušku únosnosti kotevního úchyty a držáku stupačky lze s ohledem na přesvědčivé výsledky pevnostní analýzy zanedbat.

#### 4.4.2 Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena

Zatěžovací zkouška bočního ramena se připravila podle obrázku č. 41, samotný proces zatěžování se provedl podle zatěžovacího diagramu na obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 18 °C.



Obr. 40 – Zatěžovací diagram zkoušky únosnosti bočního a středního ramena



Obr. 41: Pracoviště zatěžovací zkoušky bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Vizuální kontrola bočního ramena při maximálním provozním zatížení  $F_v=9$  kN, nevykázala v okolí svarových spojů žádné praskliny ani trhliny. Na profilech konzoly nevzniklo žádné boulení stěn ani viditelný ohyb ramena. Dále se kontrolovalo usmýknutí třmenové objímky na hlavě betonového sloupu, které se neprojevovalo.



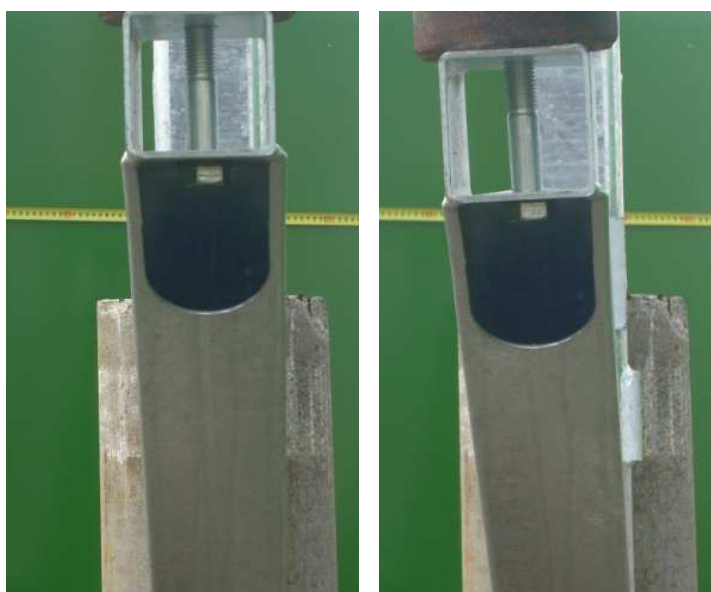
Boční rameno se proto zatížilo na hodnotu  $F_v=11$  kN (nenastaly viditelné deformace) a po odlehčení až na  $F_v=13$  kN. Při zatížení  $F_v=13$  kN se viditelně začala odlupovat vrstva zinkového povlaku v okolí svarových spojů. Opěrné desky se silně zařízly do betonového sloupu. U bočního ramena došlo k viditelnému ohybu profilů. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN se rameno nevrátilo do původní polohy, proběhly nepřijatelné trvalé deformace. Mez únosnosti nastala při zatížení v rozsahu od 12 do 13 kN, uvažovat se bude spodní hranice.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{v\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

V normě ČSN 73 2030 se požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP}=1,3$ , pokud se konstrukce deformuje jinak, platí  $\gamma_{EXP}=1,5$ . Jediný viditelný následek napjatosti byl ohyb profilů bočního ramena, proto platí  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení.

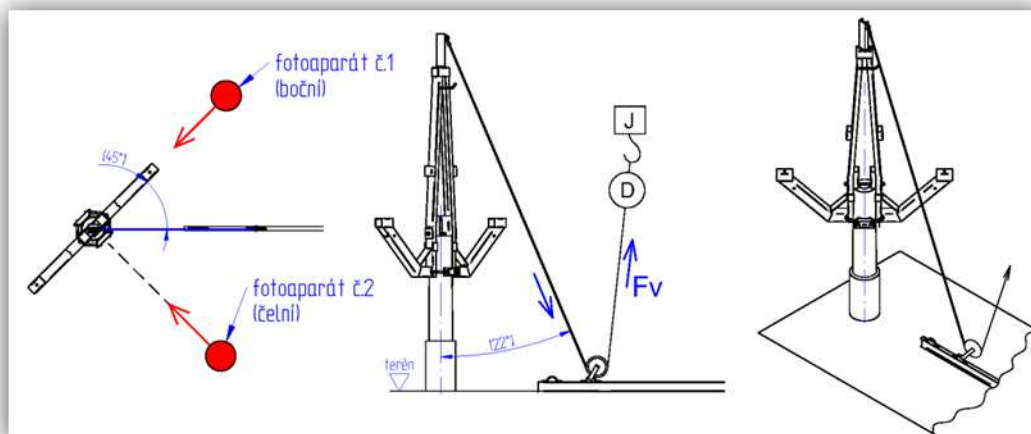
Na obrázku č. 42 je zachyceno přetvoření bočního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti. Měření velikosti maximálního prostorového přetvoření se pro obtížnost neprovedlo, navíc se mírně naklonil i samotný zkušební sloup, který nebyl dokonale ukotven v základové patce.



Obr. 42: Přetvoření bočního ramena: vlevo – při  $F_v=9$  kN, vpravo – při  $F_v=13$  kN

#### 4.4.3 Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena

Zatěžovací zkouška středního ramena se připravila podle obrázku č. 43, proces zatěžování se provedl podle stejného zatěžovacího diagramu jako u bočního ramena podle obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 19 °C.



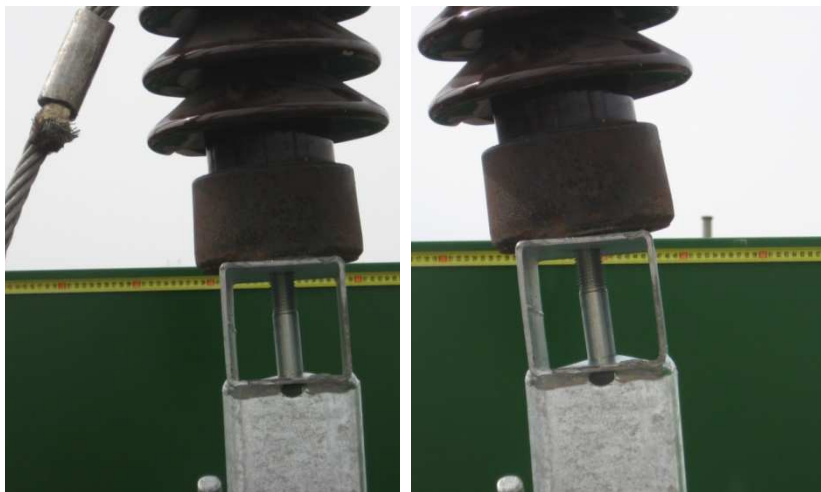
Obr. 43: Pracoviště zatěžovací zkoušky středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Na středním rameni nevznikly při zatížení  $F_v=13$  kN žádné viditelné trvalé deformace. Konzola se ovšem začala mezi hodnotami zatížení 13 a 14 kN usmýkat na betonovém sloupu. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN, konzola vykázala drobný ohyb profilů středového ramena. Bude se proto uvažovat mez únosnosti při zatížení o velikosti 13 kN.

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N.

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Střední rameno splňuje požadovanou minimální spolehlivost zkoušení  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Na obrázku č. 44 je zachyceno přetvoření středního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti.



Obr. 44: Přetvoření středního ramena: vlevo – při  $F_v=9\text{kN}$ , vpravo – při  $F_v=14\text{kN}$

## 5 Vyhodnocení výsledků

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Následně se stanovily hodnoty návrhové únosnosti použitého materiálu a provedla se pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation. Poté se vyrobil reálný prototyp konzoly, na kterém proběhla zatěžovací zkouška únosnosti. Výsledky těchto úkonů byly vyhodnoceny v následujících kapitolách.

### 5.1 Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy

Na výpočtovém modelu bylo provedeno osm pevnostních analýz, viz tabulka č. 12. Nejdůležitější jsou však výsledky napětí analýzy A-03, ve které se konzola zatížila maximálním provozním zatížením všemi třemi vodiči najednou ( $F_1=F_2=3\text{kN}$  a  $F_3=7\text{kN}$ ).

Analýza napětí v A-03 odhalila na ostrých přechodech mezi geometrií některých dílů konzoly miniaturní oblasti s vysokou koncentrací napětí. Tyto nežádoucí oblasti se nazývají vruby a ve svařovaných ocelových konstrukcích tohoto typu jsou nevyhnutelné.

Vypočtené napětí, které se koncentruje na ostrých přechodech geometrie, je třeba brát pouze jako informativní (teoretické), ale nejsme schopni říct o kolik je nadhodnoceno [10]. Jak se vruby projeví na reálné konstrukci, ukáže zatěžovací zkouška únosnosti reálného prototypu

Tab. 12 – Souhrn výsledků pevnostních analýz v Solid Edge Simulation

| č. zkoušky                                        | A-01  | A-02  | A-03  | A-04 | A-05 | A-06 | A-07 | A-08 |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(v centrech vrubů) | 774   | 338   | 615   | /    | /    | /    | 615  | 615  |
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(mimo vruby)       | 195   | 145   | 195   | 27,1 | 181  | 13,2 | 195  | 195  |
| Posunutí (přetvoření) [mm]                        | 12,70 | 17,40 | 17,40 | 0,33 | 1,12 | 0,09 | 17,7 | 17,4 |

Pomine-li se v analýze A-03 výskyt vrubů, bylo naměřeno v materiálu konzoly maximální napětí  $\sigma_{\max}=195\text{ MPa}$ .

Pro základní materiál S235JR musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{\max} \leq R_d$  (3.9).

Tato podmínka je splněna ( $\sigma_{\max} = 195\text{ MPa} \leq 235\text{ MPa}$ ).

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{max} \leq f_{vw,d}$  (3.11). Tato podmínka je rovněž splněna ( $\sigma_{max} = 195 \text{ MPa} \leq 207 \text{ MPa}$ ).

## 5.2 Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti

Provedení zatěžovací zkoušky únosnosti všemi třemi vodiči najednou nebylo umožněno, kvůli nedostatečnému vybavení zkušebny společnosti ES. Zkoušky únosnosti se proto rozdělily dvě etapy, v první se zatížilo boční rameno a ve druhé rameno střední. Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil viz kapitola 4.4.1.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,46$ .

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Střední rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,58$ .

Výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti potvrdily výsledky pevnostních analýz. Konstrukce se ve vrubech ve skutečnosti nedeformovala i přesto, že pevnostní analýza označila tyto místa za nevyhovující, protože se v nich překročila stanovená návrhová únosnost materiálu. Naopak daleko dříve se začala konzola trvale deformovat v okolí těchto vrubů.

### **5.3 Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N**

Konzola PAŘÁT-III-JB-N vyhovuje všem zákonnými, konstrukčním i pevnostním požadavkům. Únosnost konzoly je dimenzována na maximální provozní zatížení, které je cca 1,5x větší, než zatížení které může v provozu nastat. V praxi se navíc ukázalo, že maximální provozní zatížení je pouze ojedinělý jev.

Konzola PAŘÁT-III-JB-N podle pověřené agentury AOPK snížila riziko úhynu volně žijícího ptactva na minimální úroveň, viz odborná stanoviska v přílohách č. 25 až 27. Tím se stala jedinou takto klasifikovanou konzolou v ČR.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její únosnost. Únosnost konzoly se ověřila jak pevnostní analýzou v softwaru Solid Edge Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly podle všech stanovených požadavků, na kterém se zrealizovala pevnostní analýza Simulation a zatěžovací zkouška únosnosti. Konzola PAŘÁT-III-JB-N pevnostně vyhověla u obou metod, ovšem pro komplexní posouzení funkčnosti nelze jednu před druhou upřednostnit.

Pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation, rychle a objektivně posoudila napjatost a deformaci uvnitř materiálu. Při zjednodušení výpočtového modelu a jejich vazeb s betonovým sloupem zase nepřesně vyhodnotila reálné chování konzoly na betonovém sloupu a označila ostré přechody mezi jednotlivými díly za pevnostně nevyhovující, což může vyvolat řadu spekulací.

Zatěžovací zkouška únosnosti naopak kvalitně posoudila reálné chování konstrukce na betonovém sloupu, ale bez speciálních tenzometrických měřících zařízení neumožnila vyhodnotit napjatost uvnitř materiálu.

Při vhodné kombinaci těchto dvou nástrojů se může výrazně zkrátit čas určený pro návrh, stejně tak lze zamezit opakované výrobě nevyhovujících prototypů a v neposlední řadě lze optimalizovat sílu zvoleného materiálu. Tím lze ušetřit nemalé finanční prostředky a zvýšit kvalitu výrobku. Vzhledem k tomu, že tato pevnostní analýza je první bezprecedentní zkušeností společnosti ES s analytickým posuzováním únosnosti výrobku, bude se tato metoda ve firemním prostředí neustále rozvíjet a zdokonalovat.

Myšlenka provádět v budoucnosti kontrolu únosnosti konzol pouze analyticky v softwaru Solid Edge - Simulation není v tuto chvíli možná, protože společnost ES neumí správně vyhodnotit vlastnosti vyskytlých vrubů, kde dochází k vysoké koncentraci napětí a také nedokáže analyticky vyjádřit kontakty mezi ocelovými profily a betonovým konickým sloupem, což může být podnětem pro další zkoumání.

# Seznam literatury a internetových stránek

- [1] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. Brno: EGÚ Brno, a.s., 2008.
- [2] MENTL, V.; VLK, M.; ROTTER, T.; BARTÁK, J.: *Konstrukce a provedení*. Plzeň: 2011.
- [3] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN 73 2030. *Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí: Společná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] *Energetika servis s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2013-03-04].  
Dostupné z: <http://www.energetika-servis.cz/>
- [8] *AXIOM TECH* [online]. [cit. 2013-05-10].  
Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/>
- [9] *TVP group s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20].  
Dostupné z: <http://www.tpvgroup.cz/>
- [10] CAD III Pevnostní analýzy, Zdeněk konečný, Václav Krys, Ostrava 2007  
KONEČNÝ, Zdeněk a Václav KRYŠ. *CAD III - Pevnostní analýzy*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1513-8.
- [11] *Miniencyklopedie Elektřina*. [online]. 2003 [cit. 2013-10-04].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [12] *Technické normy společnosti E.ON ČR s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-01-04].  
Dostupné z: <http://ti.eon.cz/cs/normy/>



# Seznam příloh

Příloha č. 01 – Výkres č. 803-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.

Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB

Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru

Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava

Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB

Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.

Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P

Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky

Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska

Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemnicí pásek

Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pás

Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena

Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90

Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB

Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115

Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Těleso objímky JB

Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

Příloha č. 21 – Atest přídavného materiálu pro svařování

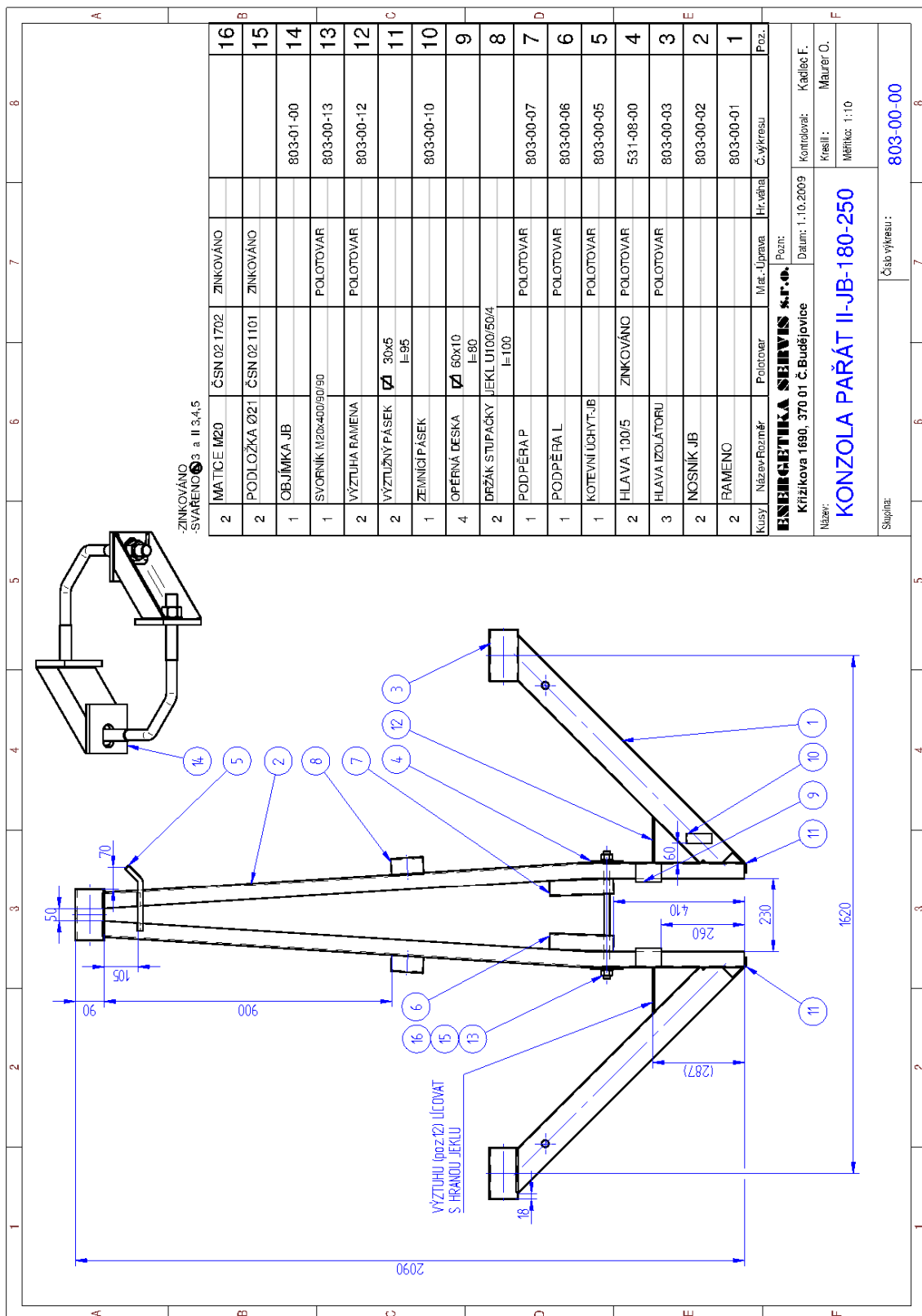
Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

Příloha č. 23 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.1/3

Příloha č. 24 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.2/3

Příloha č. 25 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.3/3

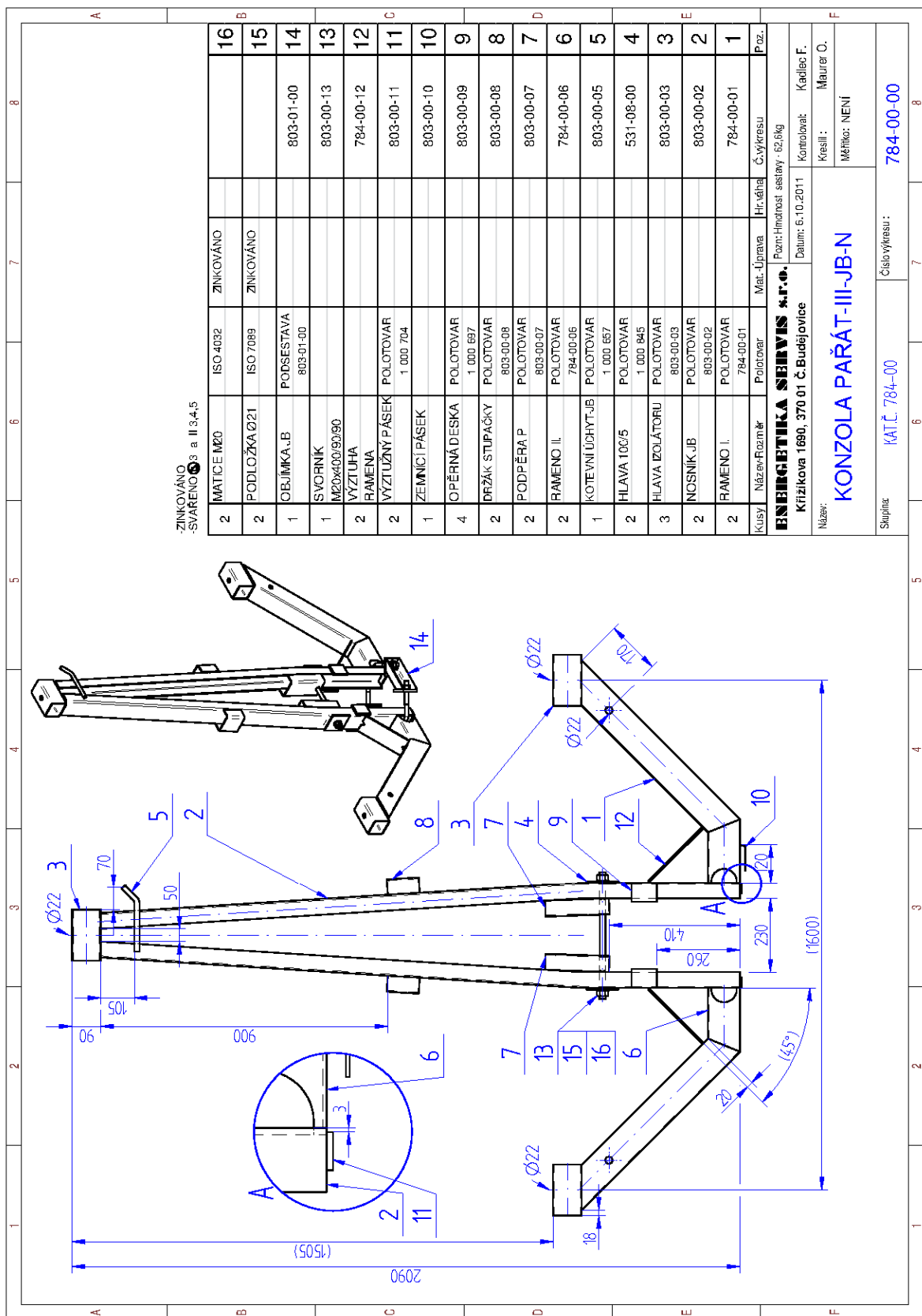
Příloha č. 01 – Výkres sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N



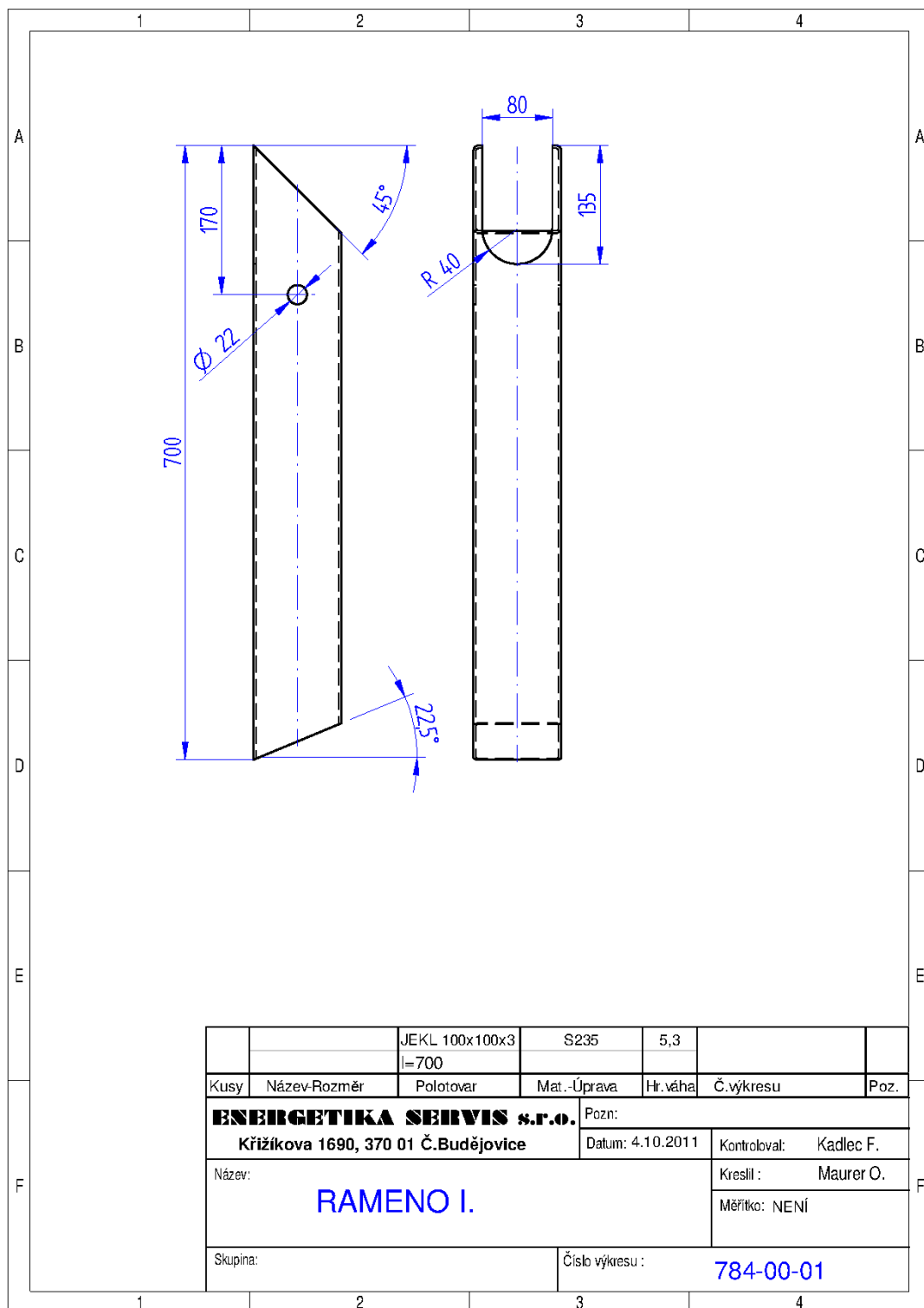
Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

| Název dílu      | Polotovar                                     | Materiál | č. výkresu | Hmotnost | Počet ks v sestavě |
|-----------------|-----------------------------------------------|----------|------------|----------|--------------------|
| Rameno          | Profil TR 4HR100x100x3-1000<br>ČSN EN 10210-2 | S235 JRH | 803-00-01  | 8,1      | 2                  |
| Nosník JB       | Profil U 100x50x5-2000<br>ČSN 42 6963         |          | 803-00-02  | 14,3     | 2                  |
| Hlava izolátoru | Profil TR 4HR 90x90x5-1000<br>ČSN EN 10210-2  |          | 803-00-03  | 1,7      | 2                  |
| Hlava           | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 531-08-00  | 0,38     | 2                  |
| Kotev. úchyt JB | Tyč Ø16-220<br>ČSN 42 5510                    |          | 803-00-05  | 0,4      | 1                  |
| Podpěra L       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-06  | 1,3      | 1                  |
| Podpěra P       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-07  | 1,3      | 1                  |
| Držák stupačky  | Profil U 100x50x4-100<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-08  | 0,59     | 2                  |
| Opěrná deska    | Tyč PLO 60x10-80<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-00-09  | 0,38     | 4                  |
| Zemníčí pásek   | Plech P 3 – 30x100<br>ČSN 42 5310             |          | 803-00-10  | 0,1      | 1                  |
| Výztužný pásek  | Tyč PLO 30x5-95<br>ČSN 42 5340.01             |          | 803-00-11  | 0,1      | 2                  |
| Výztuha ramena  | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 803-00-12  | 0,55     | 2                  |
| Tělo objímky    | Profil U80-380<br>ČSN 42 5570                 |          | 803-01-02  | 1,9      | 2                  |
| Bok objímky     | Tyč PLO 80x10-85<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-01-02  | 0,5      | 4                  |

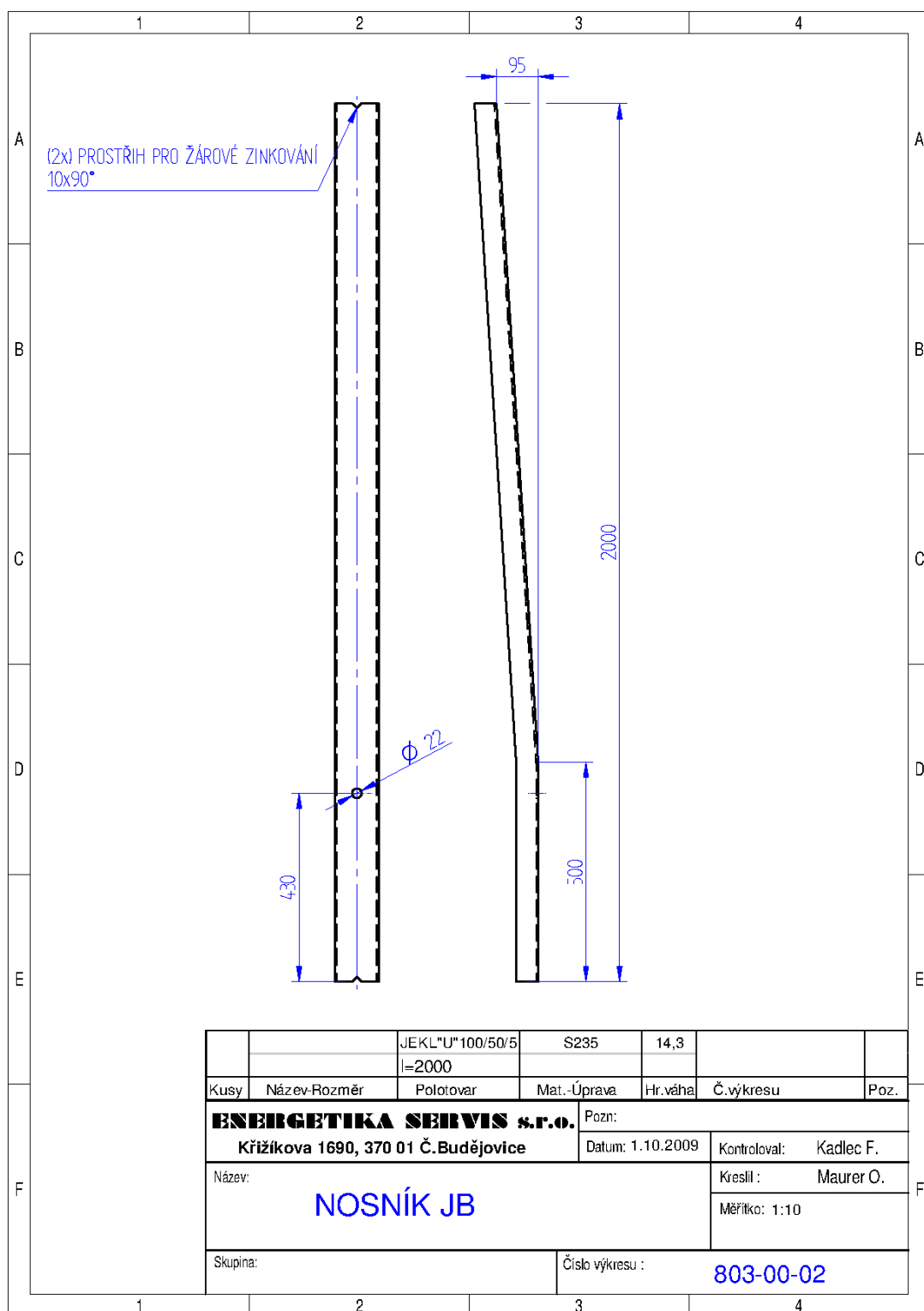
Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N



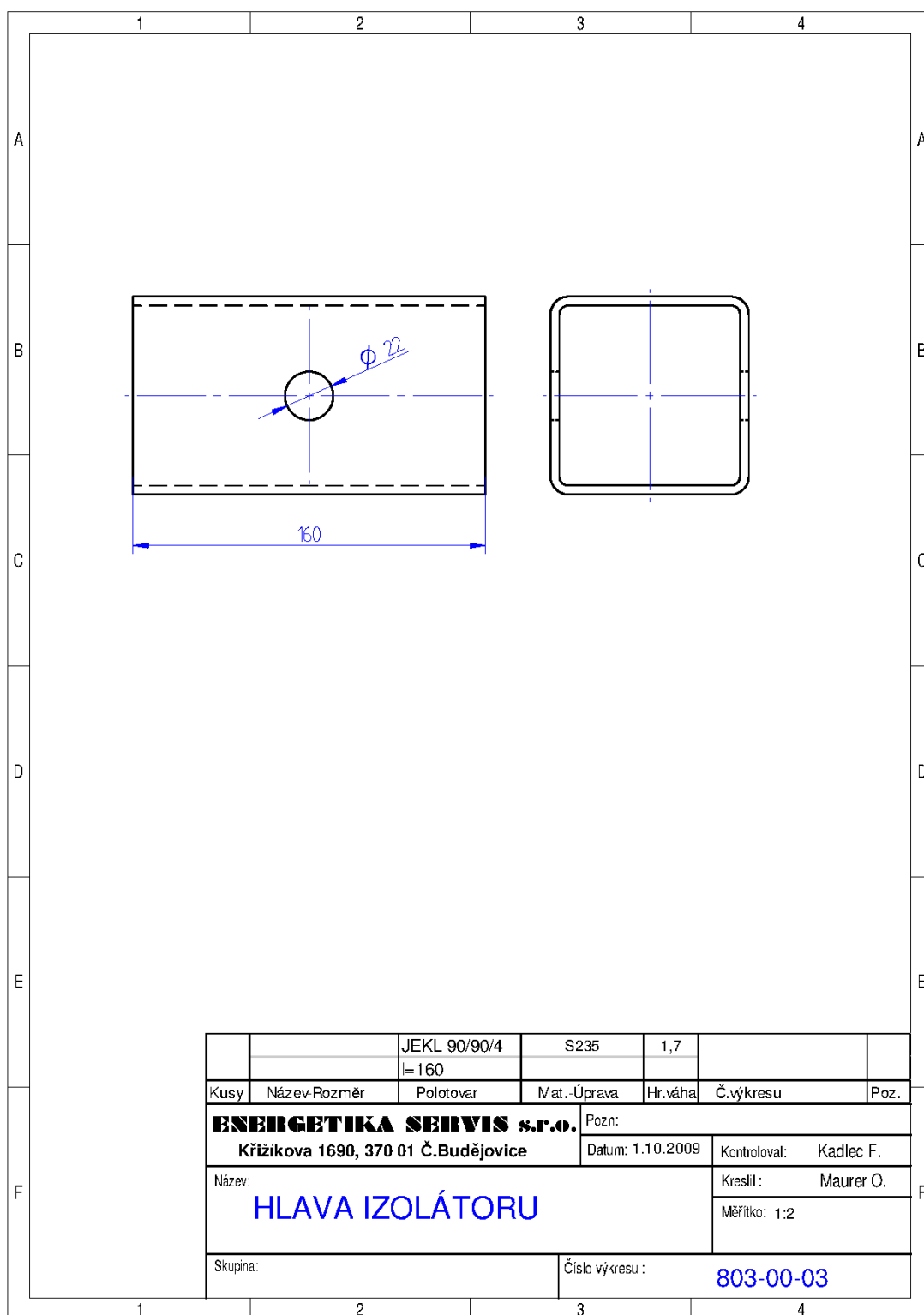
Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.



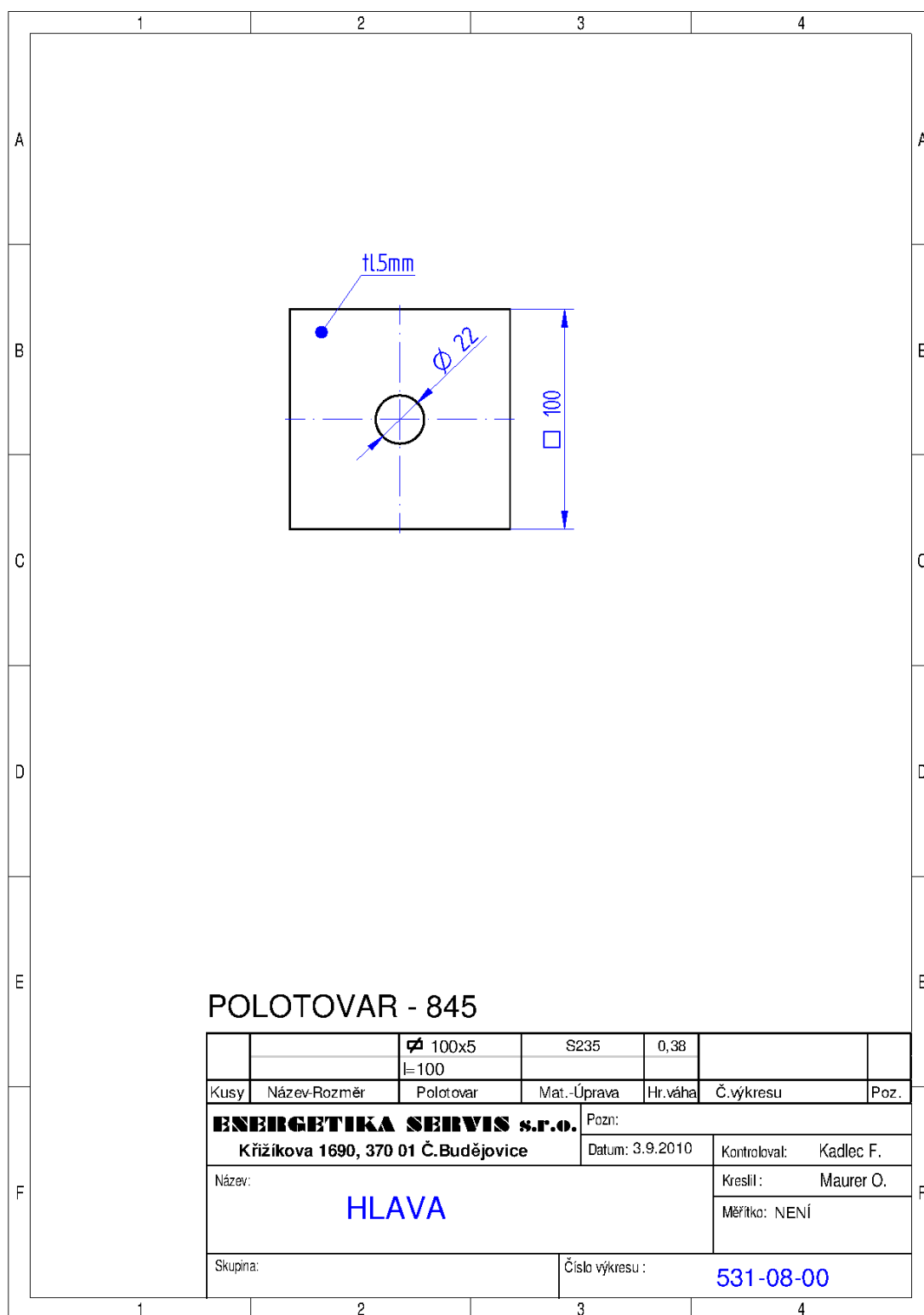
Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB



Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru

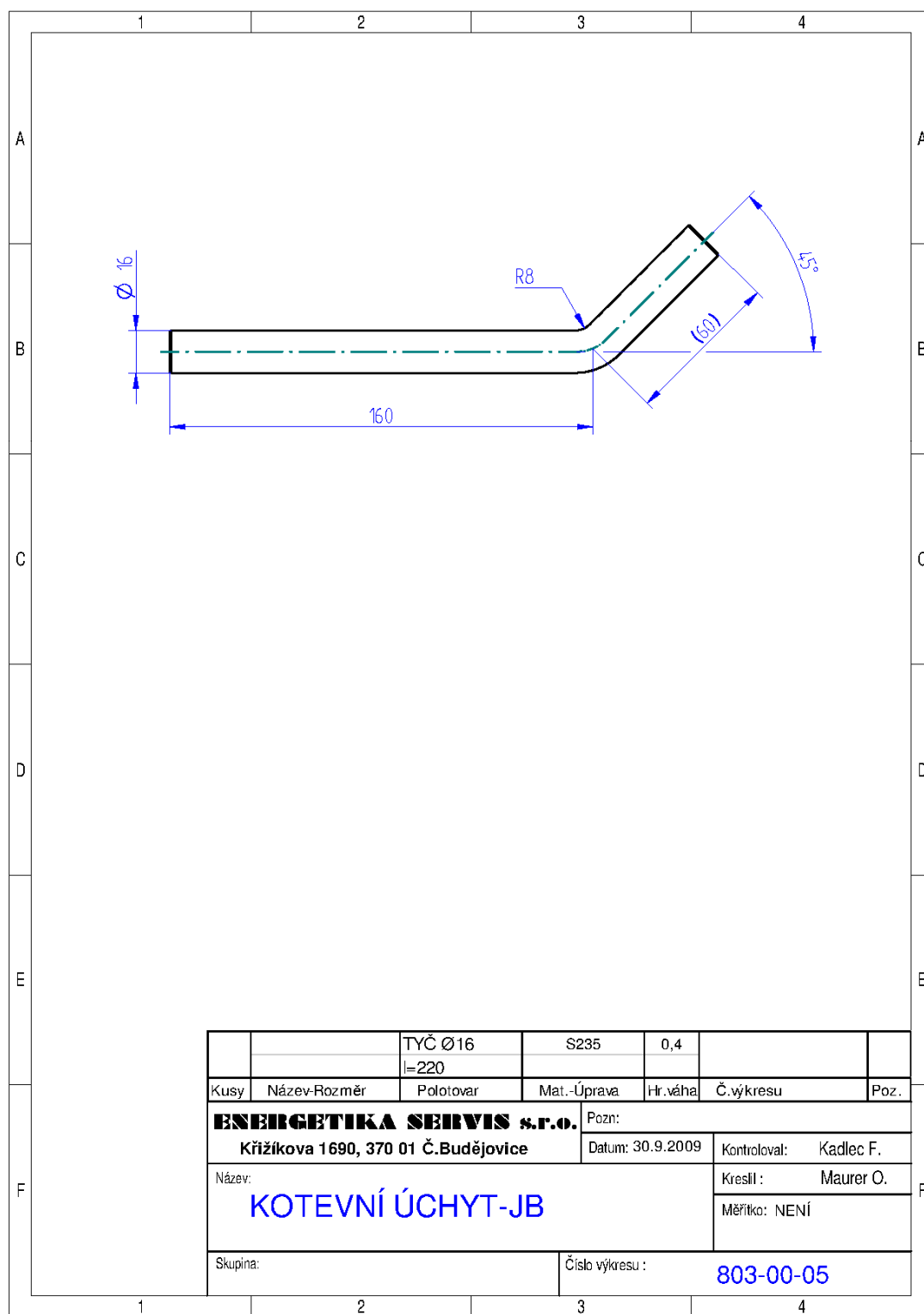


Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava

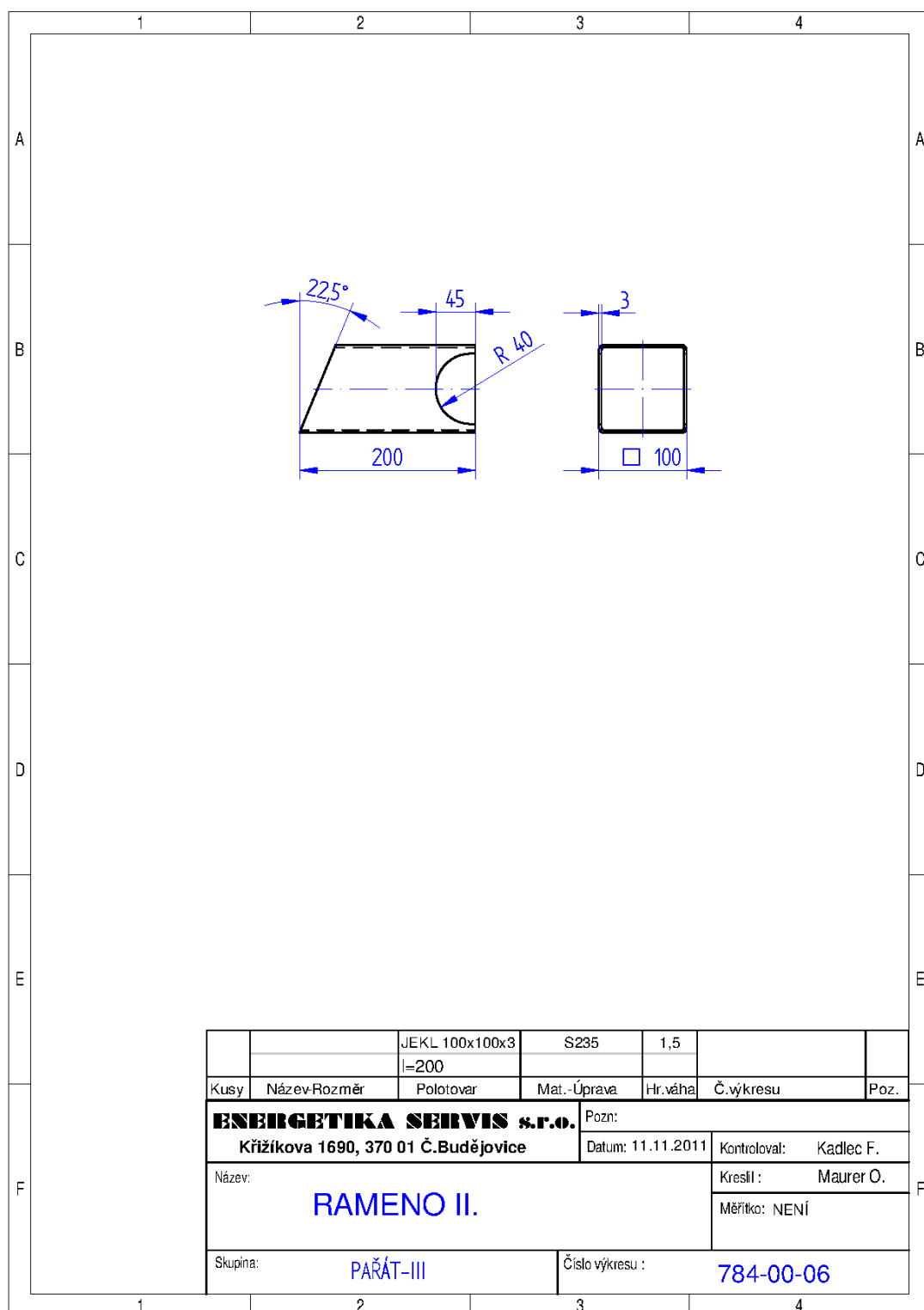




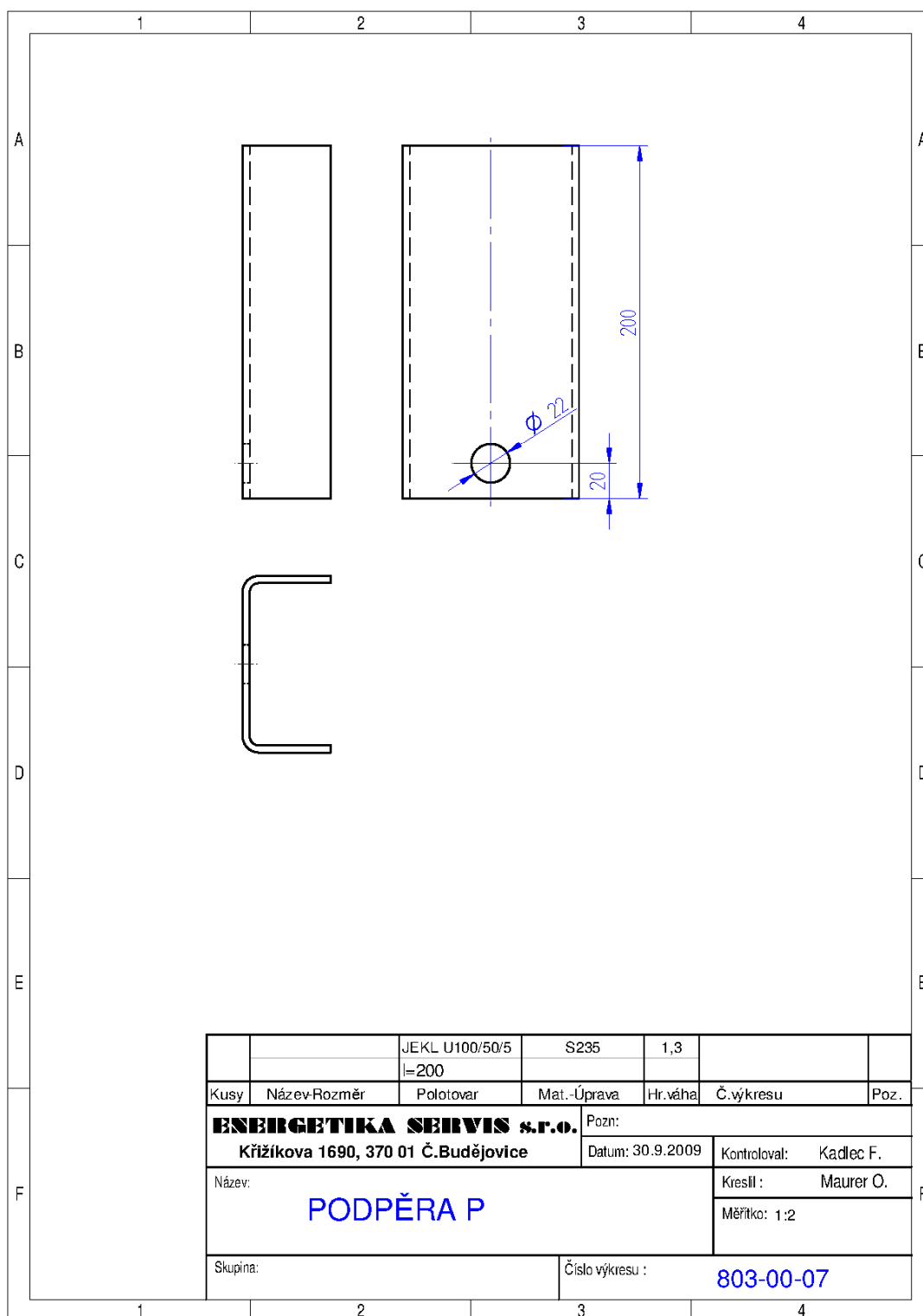
Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB



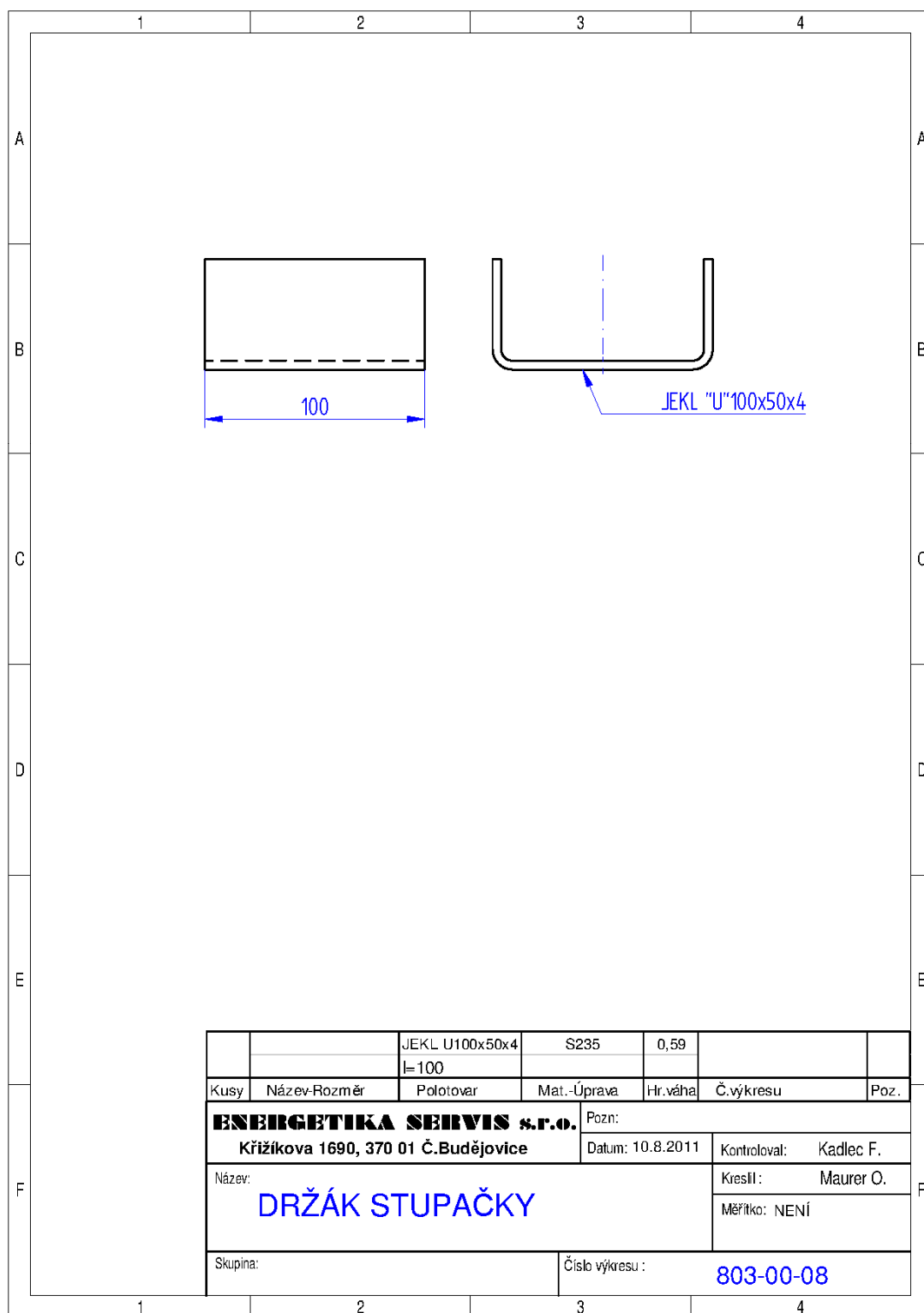
Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.



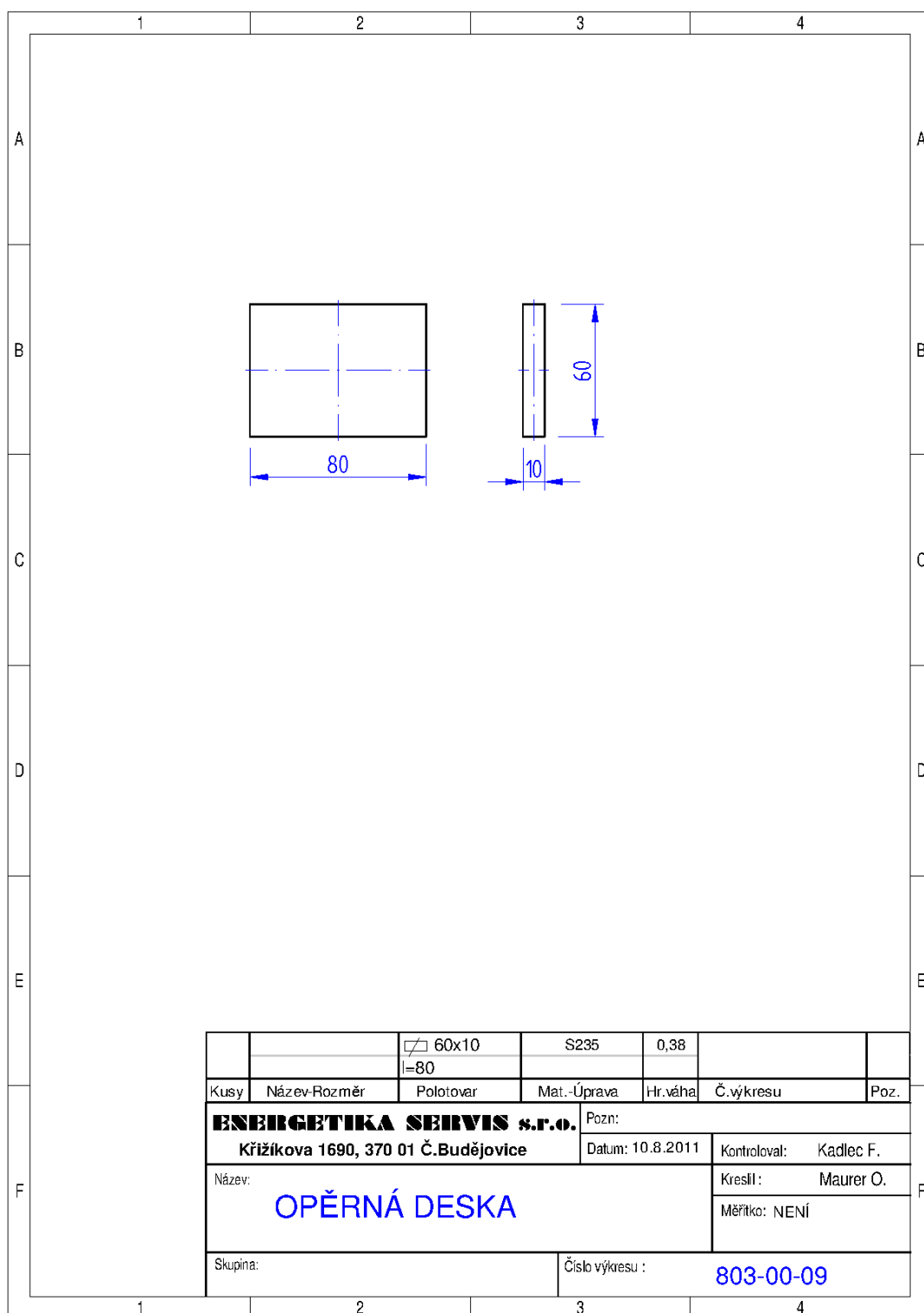
Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P



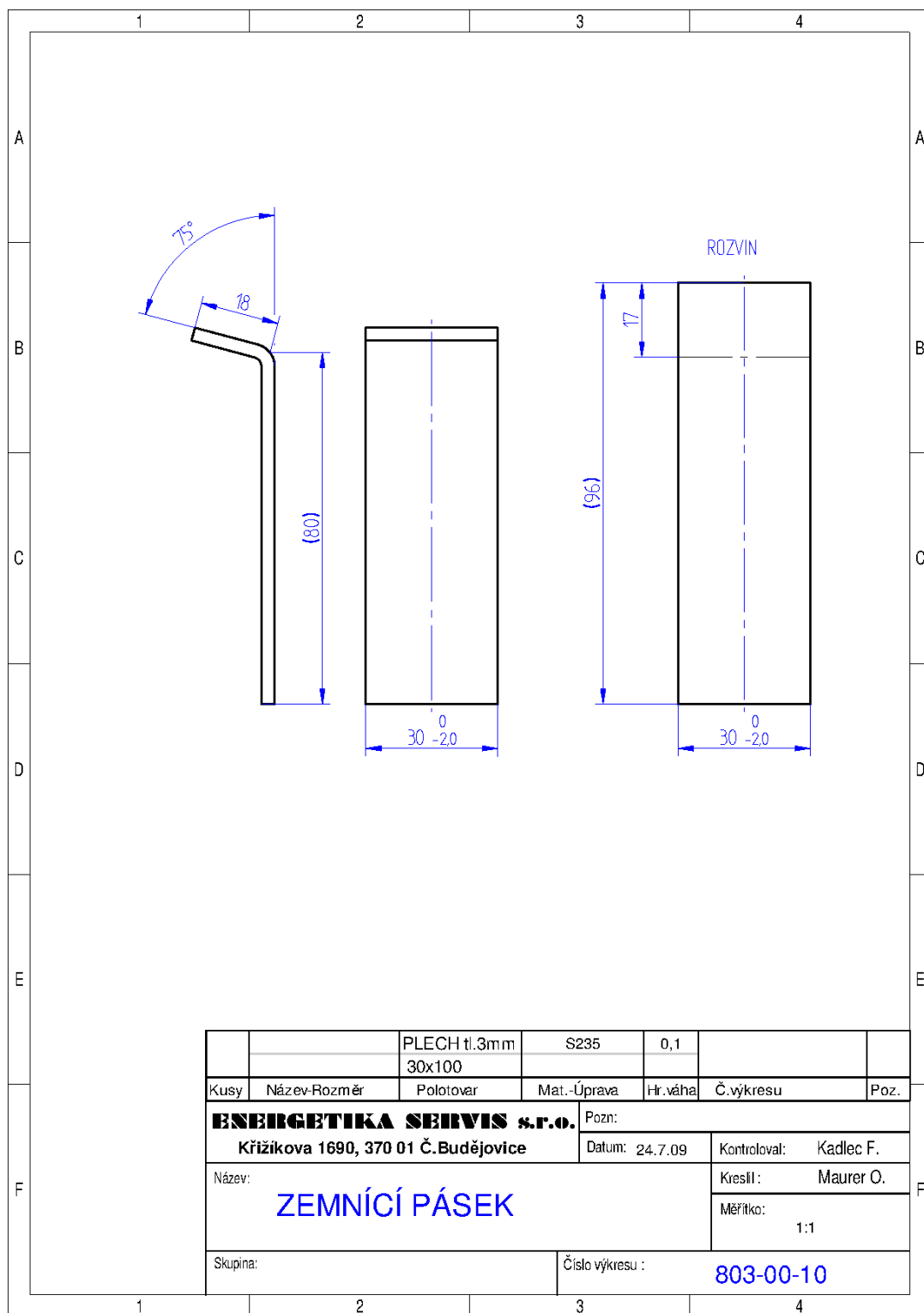
Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky



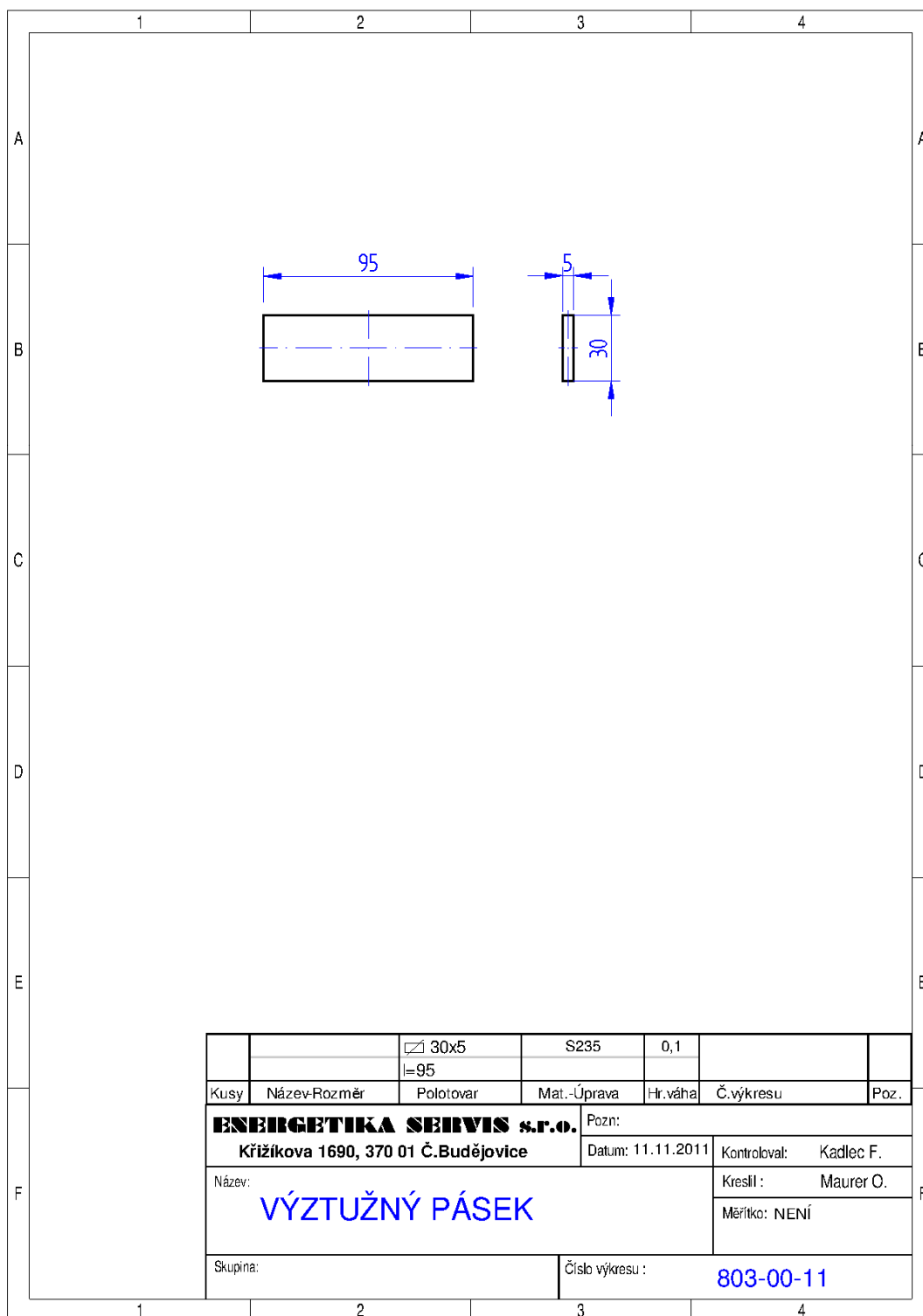
Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska



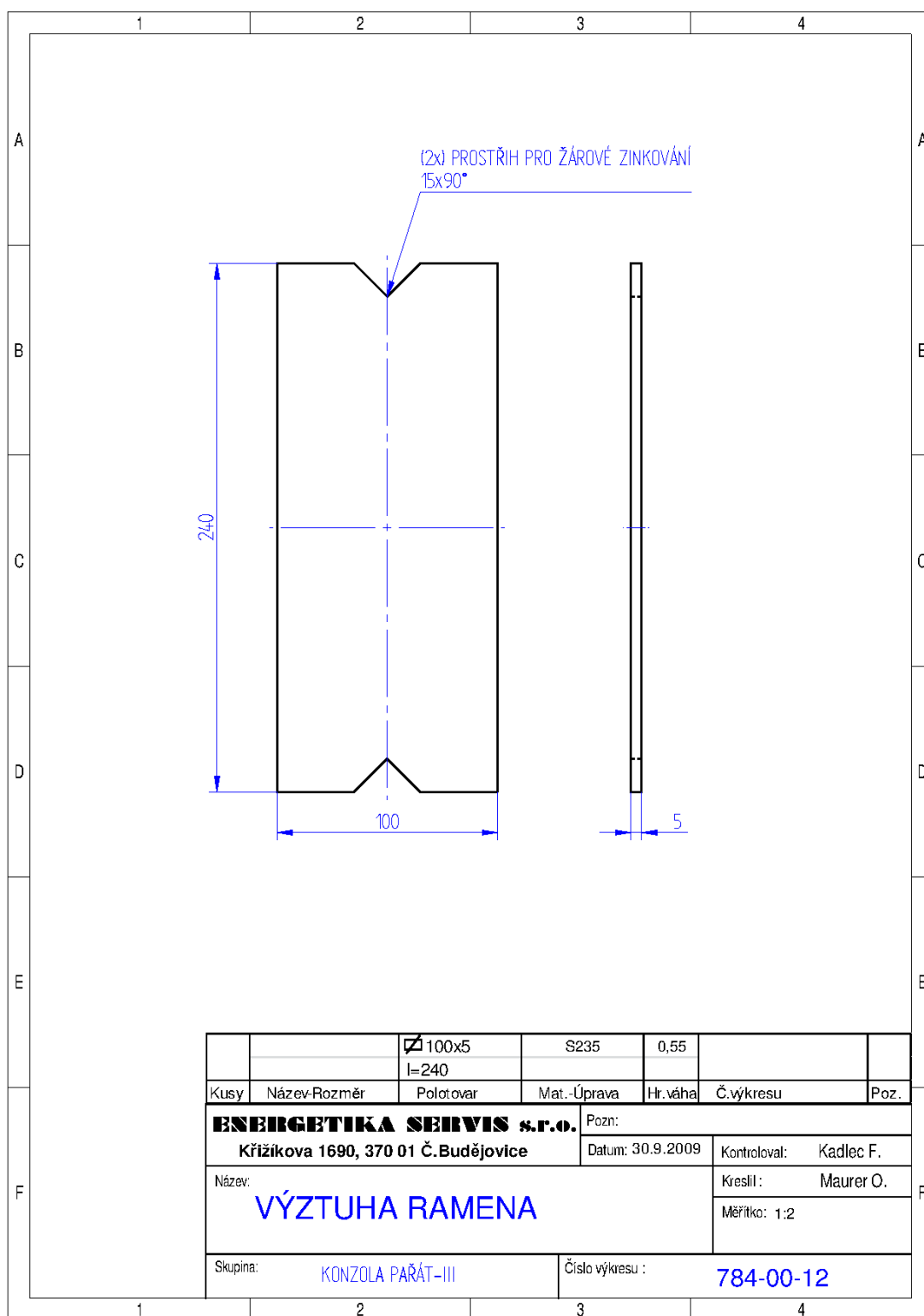
Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemní pásek



Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pásek

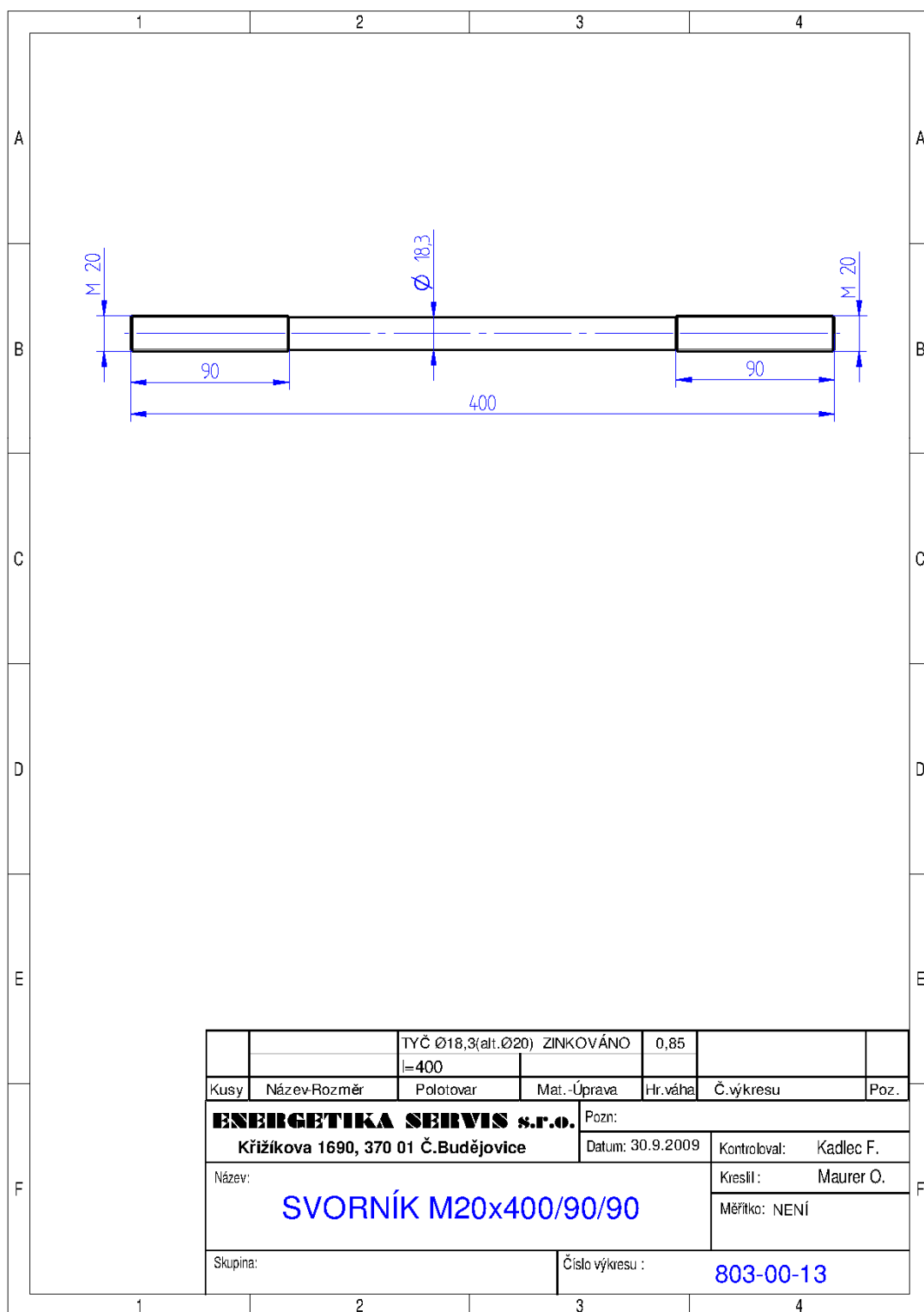


Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena

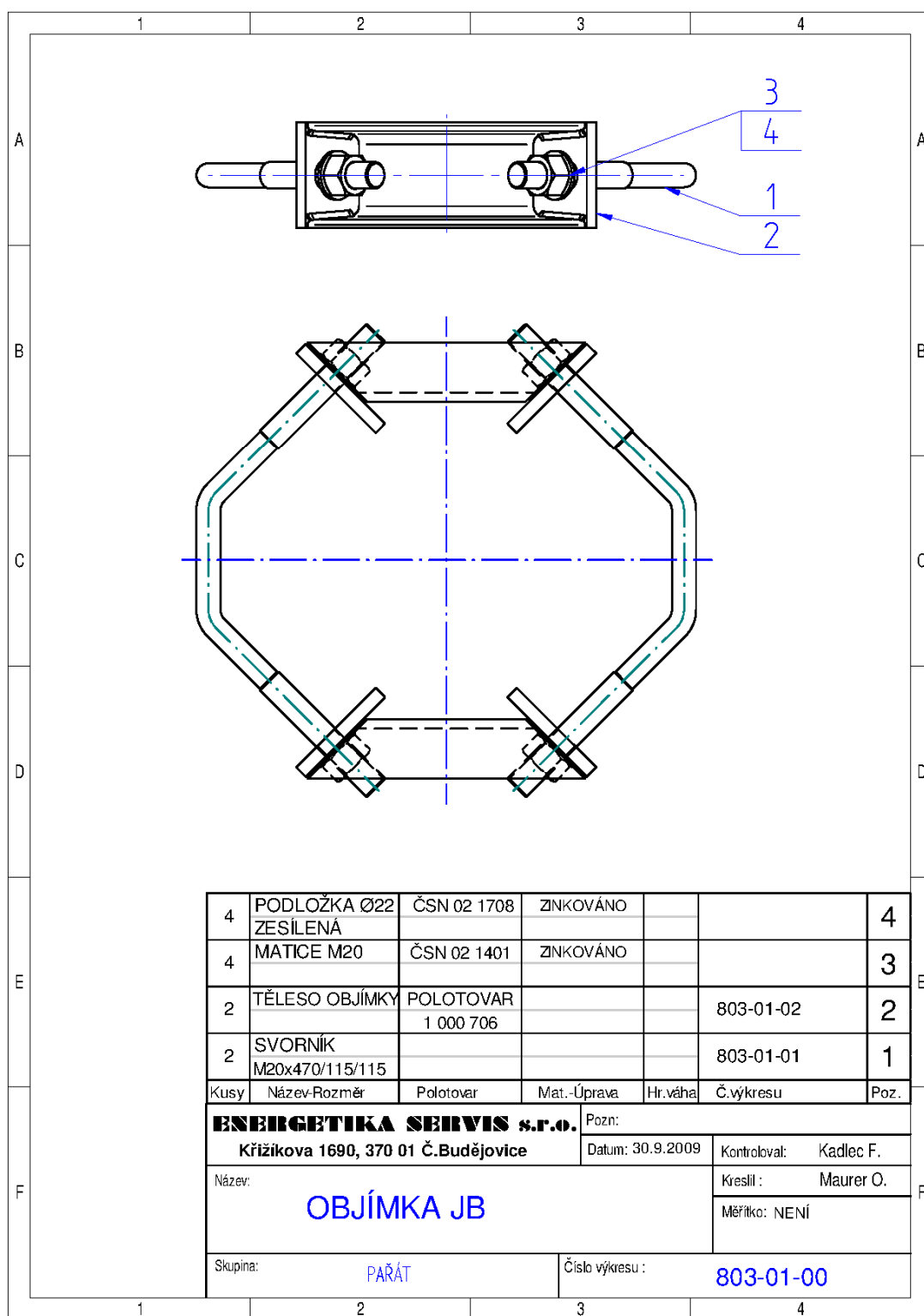




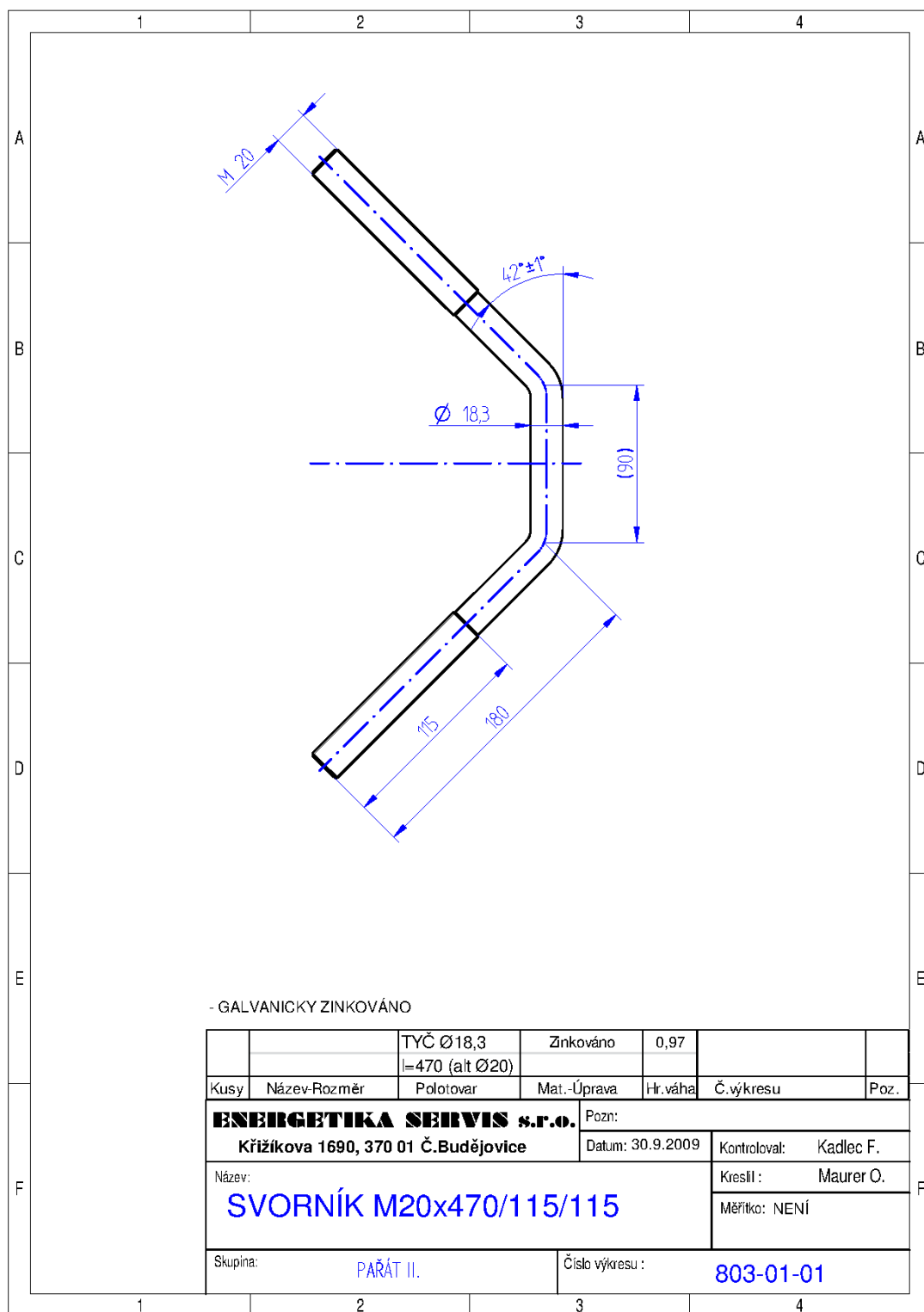
Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90



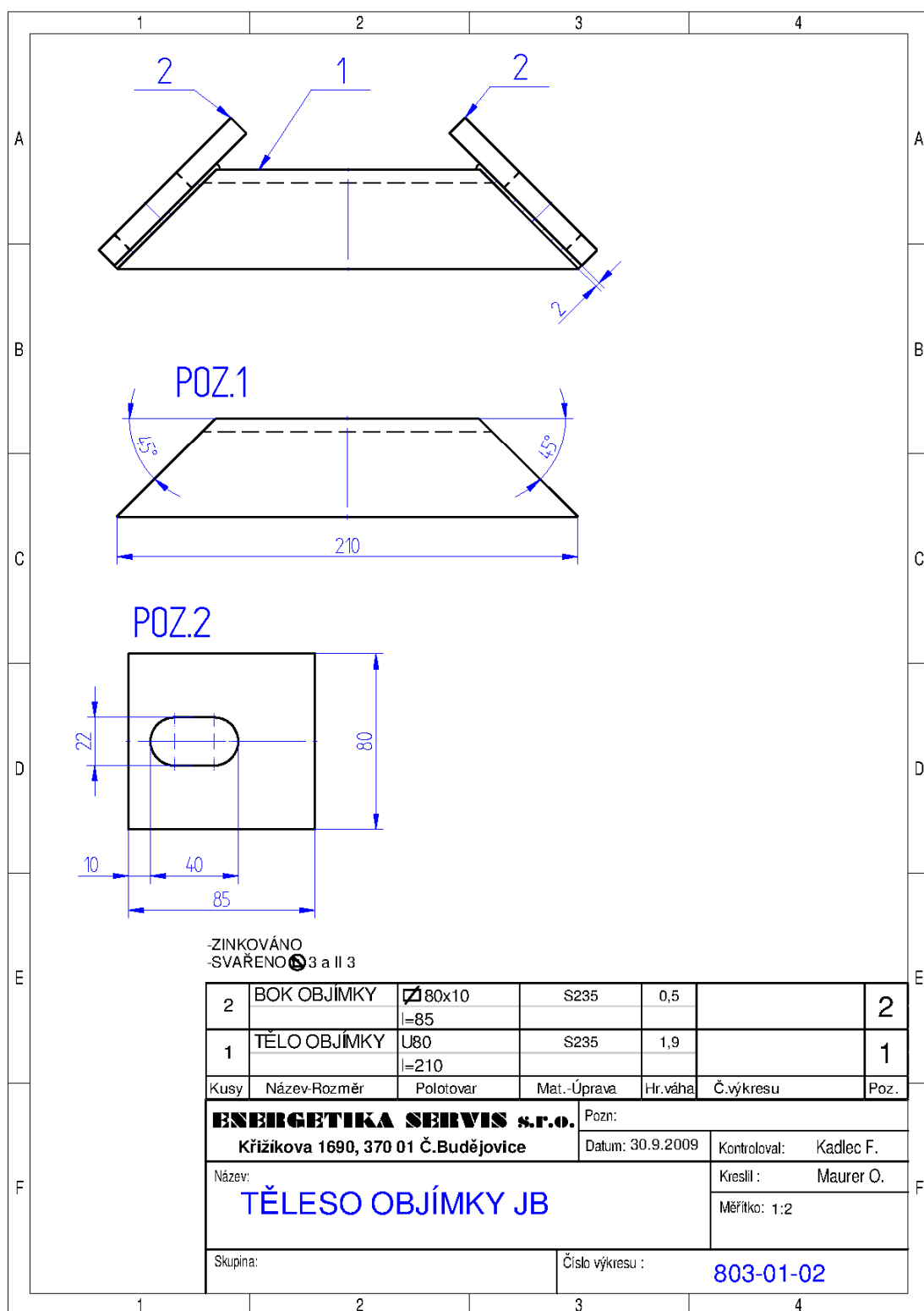
Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB



Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115



Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Tělo objímky JB



## Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

### ES CERTIFIKÁT SYSTÉMU ŘÍZENÍ VÝROBY

č. 1020 – CPD – 020-025934

V souladu se směrnicí Rady 89/106/EHS ze dne 21. prosince 1989 o sblížení zákonů a dalších právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích - CPD), ve znění pozdějších předpisů Rady Evropských společenství, se potvrzuje, že stavební výrobek:

**Konstrukční kovové stavební díly do třídy provedení EXC-2**  
v rozsahu: Výroba a dílenská montáž ocelových konstrukcí  
Přehled použitých metod svařování (dle ČSN EN ISO 4063): 135  
Skupina(y) základních materiálů (dle TNI CEN ISO/TR 15608): 1.2  
Odpovědní pracovníci svařického dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002

kteř uvedl na trh:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

a byly vyrobeny ve výrobě:  
**Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice**

Jsou u výrobce podrobovány počátečním zkouškám typu výrobku a řízení výroby a dále zkouškám vzorků odebraným v místě výroby podle předepsaného zkušebního plánu a že notifikovaná osoba č.

**1020 - Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.**  
provedla počáteční inspekci v místě výroby a systému řízení výroby a vykonává průběžný dohled, posuzování a schvalování systému řízení výroby.  
Tento certifikát prokazuje, že byla uplatněna všechna ustanovení týkající se posuzování systému řízení výroby popsaného v příloze Za normy

**EN 1090-1**

Tento certifikát byl poprvé vydán 02.05.2011 a zůstává v platnosti, pokud se podmínky stanovené v harmonizované technické specifikaci, na niž byl uveden odkaz, nebo výrobní podmínky v místě výroby či systém řízení výroby výrazně nezmění.

  
České Budějovice, 2. května 2011  
Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucího notifikované osoby

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

Certifikační orgán č. 3015 akreditovaný ČIA podle ČSN EN 45011  
osvědčení o akreditaci č. 573/2009  
Pobočka 0200 – České Budějovice  
vydává

### CERTIFIKÁT

č. 020-025937

kterým osvědčuje, že organizace:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690  
37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

zavedla a používá proces svařování, který odpovídá  
**ČSN EN ISO 3834-2**  
v následujícím rozsahu:

**Ocelové konstrukce - konzoly**

Proces(y) svařování a příbuzné procesy: 135  
dle ČSN EN ISO 4063  
Skupina(y) základních materiálů: 1.1, 1.2  
dle TNI CEN ISO/TR 15608  
Odpovědní pracovníci svařického dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002  
Výrobové normy: ČSN EN 1090-2, ČSN EN ISO 3834-1.2  
ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817,  
ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Dokumenty mající vztah na shodu s ČSN EN ISO 3834-2: ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817, ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace procesu svařování č. 020-025936 ze dne 17.05.2011 vydaného TZÚS Praha, s. p. - pobočkou České Budějovice, který se předává zadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu.

Platnost certifikátu do: 17.05.2014

Osoba odpovědná za správnost tohoto certifikátu:

  
České Budějovice, 17.05.2011  
Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucí certifikačního orgánu

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 1807/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém managementu kvality v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 9001:2009**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

  
S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 573/2009 ze dne 24.07.2009

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 302/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém environmentálního managementu v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

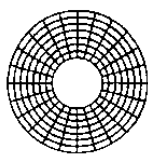
v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 14001:2005**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

  
S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 317/2008 ze dne 24.07.2008

Příloha č. 21 – Atest přidavného materiálu pro svařování



**TYSWELD®**



0035  
07

**WORK'S CERTIFICATE**

0035-CPD-C907  
DIN EN 13479 + DIN EN 14341

Purchaser / Besteller :

Your order Number / Ihre Bestellnummer:  
Manufacturer/ Hersteller: Y.N.H.  
Quantity delivered/ Liefermenge: 22000 kg

**PROFI SVAR s.r.o.**

Lidická 209, 370 07 Č. Budějovice  
IČO 260 88 088 DIČ CZ26088088  
Mob.: 603 372 320, 605 144 345 (1)

**Inspection Certificate 3.1**  
**EN 10204-3.1 type 3.1 according to EN 10204:2004**  
**(3.1 B according to EN 10204:1991)**

*typ*

Number of Certificate/Zertifikat Nummer: 620811

Standard classification/ Normbezeichnung EN 14341: G38 2 C G3Si1 AWS A 5.18-93: ER70S-6 DIN:8559:SG-2

| Executive Standard/<br>Normbezeichnung | Mfg Date/<br>Eingangs/ Bestelldatum | Date of Issue/<br>Ausgangs/ Absendedatum |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| GB/T8110-1995                          | 2011.6                              | 2011.6                                   |

| Trade Mark/<br>Handelsname                  | Diameter/<br>Abmessung | Lot-/Heat No.<br>Serien-/Chargen- Nr. | Weight/<br>Gewicht |
|---------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Welding Wire/ Drahtelektrode<br>Tysweld SG2 | Ø 1.0                  | 832000                                | 32400kg            |

| Chemical Compositions of the welding wire/ Chemischer Aufbau der Schweißleitungen |                             |                                             |                     |                             |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Element/<br>Element                                                               | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat | Element/<br>Element | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat |
| C                                                                                 | 0.06-0.15                   | 0.09                                        | Cr                  | --                          | --                                          |
| Mn                                                                                | 1.40-1.85                   | 1.54                                        | Ni                  | --                          | --                                          |
| Si                                                                                | 0.80-1.15                   | 0.96                                        | Mo                  | --                          | --                                          |
| S                                                                                 | ≤0.035                      | 0.013                                       | Cu                  | ≤0.50                       | 0.24                                        |
| P                                                                                 | ≤0.025                      | 0.012                                       | V                   | --                          | --                                          |

**Inspection Certificate 2.2 according to EN 10204:2004**

| Mechanical Properties of Deposited Metal/ Mechanischer Eigentum des Niedergesetzten Metalls |                             |                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Item/<br>Einzelheit                                                                         | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches Resultat |
| Tensile Strength/ Zugfestigkeit b (MPa)                                                     | ≥500                        | 538                                      |
| Yield Strength/ Dehngrenze 0.2 (MPa)                                                        | ≥420                        | 432                                      |
| Elongation/ Dehnung A5%                                                                     | ≥22                         | 28                                       |
| Impact Value/ Einfluß-Wert AKV(J)                                                           | ≥27                         | 56                                       |
| Impact Temp/ Einfluß Temp °C                                                                | - 29                        | - 29                                     |
| X-Ray/ X-Strahlen                                                                           | II                          | I                                        |

**Approvals / Zulassungen : TUV, DB-Zul.-Nr. 42.107.02, ABS**

This is to certify that the welding wire conforms with the above standards/ Diese Bescheinigung bestätigt die oben genannten Standards der Schweißleitungen

This certificate was issued by DP -equipment and does not require signature/  
Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift  
TIS 39-220 Pilzno ul. Blonia 5

Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

| Název materiálu              |                            |                                        | 100/25 AlFe | 110/22 AlFe |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------|-------------|
| Modul pružnosti              | $E_{\text{vyp}}$           | MPa                                    | 81 360      | 77 450      |
| Činitel tepelné roztažnosti  | $\alpha_{\text{vyp}}$      | $\cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$       | 17,742      | 18,363      |
| Měrná hmotnost               | $\chi_{\text{vyp}}$        | $\cdot 10^{-3}\text{N/m}^3\text{mm}^3$ | 37,630      | 35,943      |
| Průměr vodiče                | $d_{\text{vodič}}$         | mm                                     | 14,60       | 14,96       |
| Matematický průřez vodiče    | $s_{\text{vodič}}$         | $\text{mm}^2$                          | 124,70      | 132,30      |
| Poměr Al / Fe                | $K_{\text{poměr}}$         | -                                      | 4,05        | 5,01        |
| Počet drátů v laně           | -                          | ks                                     | 12+18/1+6   | 11+17/1+6   |
| Zaručená celková pevnost     | $P_{\text{zar}}$           | N                                      | 43 560      | 42 030      |
| Měrná celková pevnost        | $P_{\text{měr}}$           | MPa                                    | 349,318     | 317,687     |
| Maximální dovolené namáhání  | $\sigma_{\text{dov max}}$  | MPa                                    | 132,741     | 120,721     |
| Dovolené doporučené namáhání | $\sigma_{\text{dov 90\%}}$ | MPa                                    | 119,467     | 108,649     |
| Jmenovitý trvalý proud       | $I_{40/70}$                | A                                      | 311         | 328         |
| Maximální odpor při 20°C     | $R_{20}$                   | $\Omega/\text{km}$                     | 0,284       | 0,259       |
| Hmotnost                     | m                          | $\cdot 10^{-3}\text{ kg/m}$            | 478,50      | 484,90      |
| Měrná jednotka               |                            | -                                      | kg          |             |
| Materiálové číslo KZM        |                            |                                        | 50 003 749  | 50 033 762  |

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



**AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY  
A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY**  
organizační složka státu

**ODBORNÉ STANOVISKO**  
**z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky**

**Předmět odborného stanoviska**  
Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Výrobce**  
ENERGETIKA SERVIS s.r.o.  
Křižíkova 1690, 37001 České Budějovice

**Použité podklady**

- žádost o zpracování odborného stanoviska ze dne 29. 2. 2012
- protokol o zkoušce č. 9596/11 – dielektrická ochrana ptáků pro konzoly 35 kV
- rozměrový náčrt Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Odborné stanovisko**

Na konzolách typu Pařát byly prokázány ojedinělé úhyny větších druhů ptáků při pokusu o dosednutí na šikmá ramena konzoly. Toto riziko by mělo být eliminováno instalací speciálních bidel umístěných pod hlavní konzolou. Dosavadní monitoring účinnosti těchto bidel prokázal, že ptáci velikosti káněte skutečně bidla k dosedání využívají. U menších dravců (zejména poštolka obecná) byly zaznamenány pokusy o dosednutí na vodorovnou výztuhu mezi bočními a středním ramenem konzoly. U ptáků velikosti poštolky je však úraz proudem při tomto způsobu dosednutí díky tělesným proporcím prakticky vyloučen. Výrobce navrhl navíc v místě napojení bočních ramen konzoly umístění šikmých vzpěr, které plní funkci optické i funkční bariéry. Uvedená bariéra omezí náhodné pokusy o dosedání ptáků větších rozměrů, u kterých může v těchto případech dojít k úrazu. Podle současných znalostí dosedací bidlo tedy pravděpodobně nezajistí stoprocentní bezpečnost, ale společně s navrženými zábranami omezí riziko úrazů na minimální úroveň. Konzola Pařát s bidlem je pro ptáky jednoznačně bezpečnější, než tatáž konzola bez bidla a zábran. Navržené parametry bidla (průměr 63 mm, zdrsněná povrchová úprava, délka 130 cm) považujeme za optimální. V případě užití tohoto typu konzoly v praxi, doporučujeme bidly osazovat každý sloup a volit různé způsoby umístění tzn. navrhovanou alternativu č. 1 a 2, jelikož ptáci usedají na bidla podle směru větru, rušivých vlivů v okolí, výskytu možné kořisti apod.

**Závěr**

Snaha o zajištění ochrany ptáků na vedení vysokého napětí vychází ze zákonů č. 458/2000 Sb., v platném znění a zákona č. 114/1992 Sb., v platném znění. AOPK ČR byla Ministerstvem životního prostředí pověřena k provádění hodnocení výrobků a zařízení využívaných v distribuční síti z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky. Na základě současného poznání AOPK ČR souhlasí s instalací Konzoly pařát III-N-JB kat. č. 784-00 do distribučního zařízení. Navržené řešení lze považovat pro ptáky za jednoznačně bezpečnější, než ponechání konzoly bez ochranných prvků a dosedacího bidla. Předložený návrh považuje AOPK ČR za posun v zajištění ochrany ptáků na



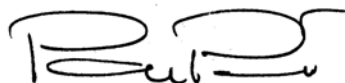
sloupech VN. Instalaci bidel doporučujeme na každý sloup s jejich alternativním umístěním dle předložené dokumentace. Vzhledem k tomu, že instalace dosedacího bidla nemůže patrně zajistit stoprocentní bezpečnost ptáků, bude jejich účinnost dále v provozu průběžně sledována a v případě potřeby bude doporučena úprava řešení. Výše uvedené předpoklady jsou platné pouze za podmínek existence a funkčnosti všech navržených prvků. Garanci kvality použitých materiálů a montážních postupů zajišťuje výrobce. Za správnost instalace odpovídá dodavatel stavby a příslušná energetická společnost.

Odborné stanovisko obsahuje 2 strany

Praha dne: 19. 06. 2012

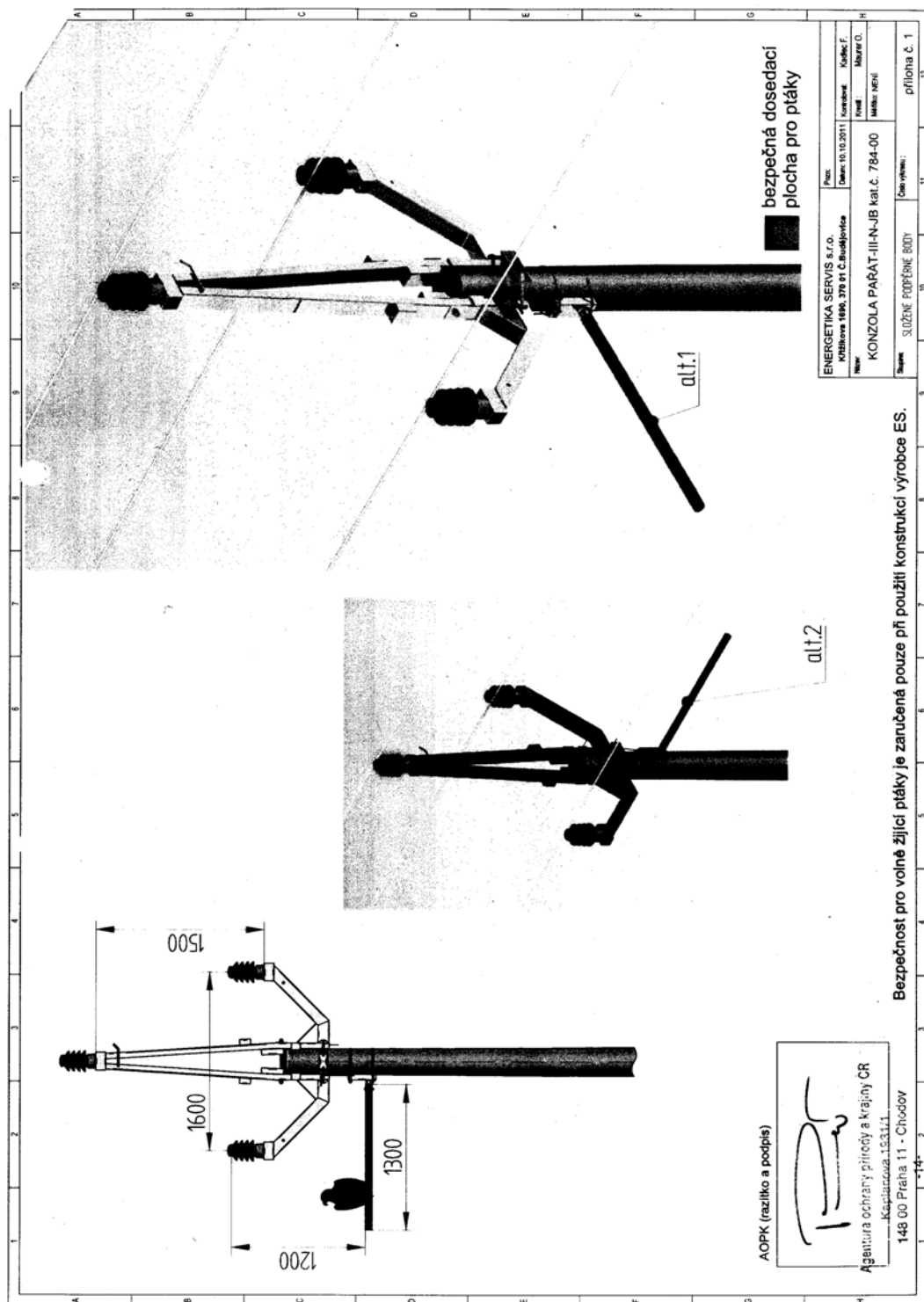
Vypracovali:  
Ing. Václav Hlaváč  
Ing. Helena Neuwirthová  
Ing. Martina Koubová

Schválil:



Ing. Pavel Pešout  
NÁMĚSTEK ŘEDITELE

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

Podpis

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

If I use my thesis to grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

Signature

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



**Fakulta strojní**

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské technologie

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

## **Production and verification of top console for power grid of 22kV**

Ondřej Maurer

**KSP – SM – B43**

Vedoucí práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..

Konzultant:

### **Rozsah práce a příloh:**

|                |    |
|----------------|----|
| Počet stran:   | 66 |
| Počet příloh:  | 25 |
| Počet tabulek: | 12 |
| Počet obrázků: | 44 |

24. 5. 2013

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

|                  |                                         |
|------------------|-----------------------------------------|
| Jméno a příjmení | <b>Ondřej Maurer</b>                    |
| Studijní program | <b>B2341 Strojírenství</b>              |
| Studijní obor    | <b>3911R018 Materiály a technologie</b> |
| zaměření         | <b>Strojírenská technologie</b>         |

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s konstrukčním řešením a způsobem výpočtů vrcholových konzol
2. Zpracujte přehled norem a předpisů, které se vztahují k metodice výpočtů.
3. Popište metodické postupy ověřování funkčnosti vrcholových konzoly ve firmě ENERGETIKA SERVIS s.r.o.
4. Na vybraném typu vrcholové konzoly realizujte pevnostní výpočet a ověření funkčnosti
5. Porovnejte různé metodické postupy výpočtů konzol



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu cca 30 stran
- grafické práce: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

[1] Normy ČSN, EN, ISO

[2] Podklady firmy ENERGETIKA SERVIS s.r.o.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld, CSc.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

---

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ)  
.Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



## ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 Strojírenství  
Student: Ondřej Maurer  
Téma práce: Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly  
pro rozvodnou síť napětí 22 kV

Production and verification of top console  
for power grid of 22kV

Číslo BP: KSP-SM-B43  
Vedoucí BP: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..  
Konzultant:

### Abstrakt:

Téma bakalářské práce je zaměřeno na konstrukční návrh, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol VN v energetickém průmyslu. V teoretické části se shrnou veškeré zákonné i konstrukční požadavky. Dále teorie výpočtu pevnosti a metodika ověřování funkčnosti konzoly ve společnosti Energetika servis s.r.o. Experimentální část je věnována návrhu nové konzoly PAŘÁT-III-JB-N, na které se zrealizuje pevnostní výpočet a ověření funkčnosti na reálném prototypu.

### Abstract:

This thesis is focused on the design, strength calculation and methodology for verifying the functionality of top console in the energy industry. The theoretical part will summarize all the legal and structural requirements. Furthermore, the theory and methodology of calculation, testing the functionality of the console at Energy Services Ltd. Experimental section is devoted to design a new console PAŘÁT-III-JB-N, which implements the strength calculation and verification of the real prototype.



Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. Května 2013

.....

Ondřej Maurer

Tř. 5. Května 57,

37382 Včelná

## Poděkování:

Děkuji doc. Ing. Heinzovi Neumannovi, CSc., Františkovi Kadlecovi, Ing. Hlachovi a Ing. Dvořákové za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

# Obsah

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod .....                                                | 11 |
| 2     | Cíl práce .....                                           | 12 |
| 3     | Teoretická část .....                                     | 13 |
| 3.1   | Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR ..... | 13 |
| 3.1.1 | Podpěrné body venkovního vedení VN .....                  | 13 |
| 3.1.2 | Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN.....            | 15 |
| 3.1.3 | Vodiče pro VN.....                                        | 17 |
| 3.1.4 | Izolátory pro VN.....                                     | 18 |
| 3.1.5 | Typy vrcholových konzol VN společnosti ES .....           | 20 |
| 3.1.6 | Konzola PAŘÁT-II-JB-N .....                               | 26 |
| 3.2   | Navrhování konzol.....                                    | 28 |
| 3.2.1 | Zákonné požadavky.....                                    | 28 |
| 3.2.2 | Elektrické požadavky .....                                | 30 |
| 3.2.3 | Konstrukční požadavky.....                                | 32 |
| 3.2.4 | Technologie výroby.....                                   | 39 |
| 3.3   | Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N .....            | 40 |
| 3.4   | Výpočet pevnosti konzoly VN .....                         | 42 |
| 3.4.1 | Normy a předpisy pro výpočet pevnosti.....                | 42 |
| 3.4.2 | Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce.....    | 42 |
| 3.4.3 | Návrhová únosnost svarových spojů.....                    | 43 |
| 3.4.4 | Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation .....         | 44 |
| 3.5   | Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES .....     | 46 |
| 3.5.1 | Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030 .....      | 46 |

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 4     | Experimentální část .....                              | 50 |
| 4.1   | Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                      | 50 |
| 4.2   | Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation.....         | 53 |
| 4.3   | Výpočet návrhové únosnosti .....                       | 60 |
| 4.3.1 | Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR .....      | 60 |
| 4.3.2 | Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru.....        | 61 |
| 4.4   | Ověření funkčnosti.....                                | 61 |
| 4.4.1 | Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti.....             | 61 |
| 4.4.2 | Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena .....      | 62 |
| 4.4.3 | Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena .....    | 64 |
| 5     | Vyhodnocení výsledků .....                             | 66 |
| 5.1   | Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy .....           | 66 |
| 5.2   | Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti..... | 67 |
| 5.3   | Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                | 68 |
| 6     | Závěr .....                                            | 69 |

# Seznam použitých zkratek a symbolů

|            |                    |                                                                                                                                   |
|------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ES         | /                  | výrobní společnost Energetika servis s.r.o.                                                                                       |
| PB         | /                  | podpěrný bod                                                                                                                      |
| JB         | /                  | jednoduchý betonový sloup                                                                                                         |
| DB         | /                  | dvojitý betonový sloup                                                                                                            |
| PS         | /                  | příhradový stožár                                                                                                                 |
| N          | /                  | nosná konzola/podpěrný bod                                                                                                        |
| AlFe       | /                  | holé kombinované lano z duše (Fe) a obalu (Al)                                                                                    |
| VN         | /                  | vysoké napětí                                                                                                                     |
| MKP        | /                  | metoda konečných prvků                                                                                                            |
| $U_n$      | [kV]               | jmenovité napětí sítě                                                                                                             |
| $U_s$      | [kV]               | nejvyšší napětí sítě                                                                                                              |
| $b_{emp}$  | [m]                | min. vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí                                                                        |
| $f$        | [m]                | větší z průhybů vodičů                                                                                                            |
| $L_{ins}$  | [m]                | svislá délka nosného izolátorového závěsu                                                                                         |
| $D_{pp}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič                                                                                   |
| $D_{el}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objekty na potenciálu země                                                                    |
| $c_{emp}$  | [-]                | konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností                                                                                     |
| $k_{emp}$  | [-]                | součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce.                                           |
| $d$        | [m]                | průměr neomrzlého vodiče                                                                                                          |
| $g_c$      | $[N \cdot m^{-1}]$ | tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky                                                                             |
| $\delta$   | [°]                | úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí |
| $\sigma_H$ | [MPa]              | vodorovné namáhání ve vodiči                                                                                                      |
| $E$        | [MPa]              | modul pružnosti vodiče                                                                                                            |
| $\nu$      | [°C]               | teplota okolí                                                                                                                     |
| $\alpha$   | [-]                | součinitel tepelné roztažnosti vodiče                                                                                             |

|                     |                                        |                                                                          |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $a$                 | [m]                                    | délka rozpětí (vzdálenost mezi podpěrnými body)                          |
| $\gamma$            | [N.mm <sup>-2</sup> .m <sup>-1</sup> ] | měrná tíha vodiče                                                        |
| $z$                 | [-]                                    | přetížení vodiče námrazou                                                |
| $F_1$               | [kN]                                   | síla způsobená tahem vodiče, ve směru vedení                             |
| $F_2$               | [kN]                                   | síla působící kolmo na směr vedení                                       |
| $F_3$               | [kN]                                   | síla způsobená tíhou vodiče, ve směru zemské gravitace                   |
| $F_v$               | [kN]                                   | síla výsledná (vektorový součet sil $F_1$ , $F_2$ a $F_3$ )              |
| $I_R$               | [N/m]                                  | referenční zatížení námrazou na jednotku délky                           |
| $q_h$               | [Pa]                                   | dynamický tlak větru ve výšce $h$ nad zemí                               |
| $G_q$               | [-]                                    | poryvový součinitel                                                      |
| $G_c$               | [-]                                    | součinitel rozpětí                                                       |
| $C_c$               | [-]                                    | součinitel aerodynamického odporu vodiče                                 |
| $\beta$             | [°]                                    | úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče                            |
| $R_d$               | [MPa]                                  | návrhová únosnost základního materiálu                                   |
| $R_k$               | [MPa]                                  | dolní mez kluzu základního materiálu                                     |
| $\gamma_M$          | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti materiálu                                 |
| $\gamma_{M2}$       | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti svaru                                     |
| $f_u$               | [MPa]                                  | jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu         |
| $\beta_W$           | [-]                                    | korelační součinitel podle tabulky                                       |
| $f_{vw,d}$          | [MPa]                                  | návrhová pevnost koutového svaru ve smyku                                |
| $\gamma_{exp}$      | [-]                                    | součinitel spolehlivosti zkoušení pro ocelové konstrukce                 |
| $\lambda_I$         | [-]                                    | součinitel přetvoření pro ocelové konstrukce                             |
| $G_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající stálému provoz. zatížení                  |
| $V_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající nahodilému provoz. zatížení               |
| $V_d$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající extrémnímu nahodilému provoznímu zatížení |
| $\sigma_{max}$      | [MPa]                                  | maximální naměřené napětí von Mises (metoda HM)                          |
| $\sigma_{dov\ max}$ | [MPa]                                  | maximální dovolené namáhání vodiče (stanovené výrobcem)                  |

# 1 Úvod

Iniciátorem této bakalářské práce je výrobce vrcholových konzol společnost Energetika servis s.r.o. (dále jen ES), která přijala od provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o. nový požadavek na změnu geometrických parametrů souboru konzol PAŘÁT-II na betonové sloupy. V této práci byl zadán úkol, navrhnout a ověřit funkčnost nové konzoly vybraného typu PAŘÁT-III-JB-N, která nahradí stávající konzolu PAŘÁT-II-JB-N. Téma je proto zaměřené na konstrukční řešení, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol vysokého napětí.

Z obecného hlediska je vrcholová konzola svařovaná ocelová konstrukce, která se montuje na hlavy stožáru za účelem podepření vodičů nadzemní linky vysokého napětí v patřičné mezifázové vzdálenosti. Z legislativního hlediska je vrcholová konzola klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, z důvodu trvalého zabudování do inženýrských staveb.

Tato práce se skládá ze dvou hlavních částí, teoretické a experimentální. V teoretické části se popisují typy konzol, jejich aplikace a funkce. Speciálně je rozebrána konzola PAŘÁT-II-JB-N, která se bude inovovat. Dále se provede rozbor zákonných a konstrukčních požadavků, posléze provozní zatížení a výpočet pevnosti. V kapitole výpočtů se popíše mj. i pevnostní analýza Simulation (na bázi MKP) softwaru Solid Edge, kterou výrobní společnost ES nedávno implementovala. ES ověřuje funkčnost a pevnost konzol zatěžovacími zkouškami únosnosti. Postup zatěžovacích zkoušek bude uveden v poslední kapitole teoretické části.

Experimentální část je zaměřena na samotný návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N, realizaci pevnostní analýzy Simulation a vypracování pevnostního výpočtu. V další fázi je reálně zhotovený prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N podroben zatěžovací zkoušce únosnosti, podle stávající metodiky ověřování funkčnosti společnosti ES.

Závěrem se vyhodnotí výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu, výsledky pevnostní analýzy a funkčnost nové konzoly. Pokud analýza Simulation prokáže objektivní výsledky, které se budou podobat reálnému chování konstrukce, může se stát do budoucna hlavním, moderním a efektivním nástrojem při dimenzování konzol ve společnosti ES.

## 2 Cíl práce

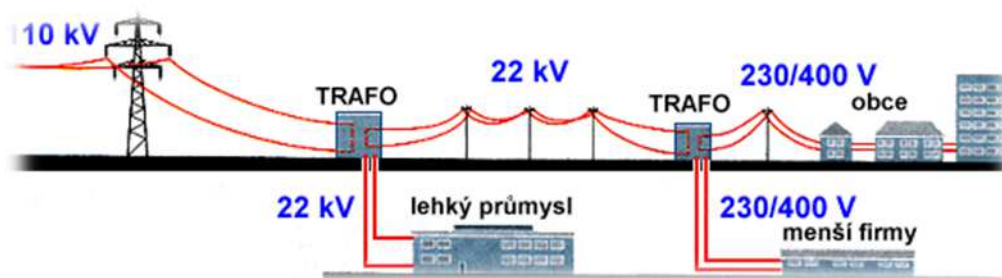
Cílem práce je navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její funkčnost resp. únosnost. Únosnost konzoly se ověří jak pevnostní analýzou v softwaru Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.



## 3 Teoretická část

### 3.1 Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR

V elektrárnách se vyrábí trojfázový střídavý proud o napětí velikosti několika tisíců voltů. Kvůli prvotní potřebě přenosu elektřiny na velké vzdálenosti, při nízkých ztrátách, se toto napětí ještě v elektrárně transformuje na velmi vysoké napětí (VVN) o velikosti 400kV, 220kV nebo 110kV. Rozvodné nadzemní sítě VVN se proto říká přenosová soustava. Přenosová soustava končí v transformačních stanicích, kde se VVN transformuje na vysoké napětí (VN) o velikosti 110kV. Část elektrické energie se přivádí linkami venkovního vedení přímo do velkých průmyslových podniků a do měnících elektrifikovaných železničních tratí. Zbývající část putuje do transformačních stanic, kde se napětí dál transformuje na vysoké napětí o velikosti 22kV, nebo 35kV. Sítě VN se proto nazývají distribuční soustavou. K poslední transformaci na nízké napětí o velikosti 230V a 400V dochází v trafostanicích samotných podniků, obcí a městských čtvrtí [11].



Obr. 1: Schéma rozvodu elektrické energie [11]

Elektrické venkovní vedení VN distribuční soustavy je tedy sítí linek, tvořených z různých typů podpěrných bodů, na jejichž vrcholcích jsou upnuty vrcholové konzoly s izolátory nesoucí vodiče. Aby bylo možné identifikovat funkce a provozní zatížení vrcholových konzol, je nutné se nejdříve seznámit s typologií podpěrných bodů.

#### 3.1.1 Podpěrné body venkovního vedení VN

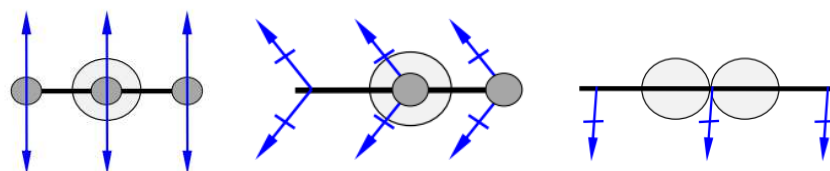
Podpěrný bod je obecně stožár, budova a vše co zajišťuje stálou podporu vodičů nad zemí. Každý podpěrný bod se skládá ze stožáru (nebo budovy), základu, podpěry (vrcholové konzoly), izolátorů a armatur. Podle účelu se podpěrné body dělí následovně [1]:

- Nosný podpěrný bod (N) - je vybavený podpěrnými izolátory nebo nosnými izolátorovými závěsy v přímé trase vedení
- Rohový podpěrný bod (R) - je vybavený podpěrnými izolátory, nosnými, nebo kotevními izolátorovými závěsy použitý v lomovém bodu trasy vedení, nebo vybavený kotevními závěsy v přímé trase vedení, pokud současně neslouží jako výztužný podpěrný bod
- Výztužný podpěrný bod (V) - je v přímé trase nebo lomu trasy vedení, sloužící současně jako pevný bod pro omezení lavinového šíření poruchy
- Koncový podpěrný bod (Ko) - je vybavený kotevními závěsy a je zatížen celkovým jednostranným tahem vodičů
- Odbočný podpěrný bod (O) - je bod, ze kterého vedou jednotlivá vedení alespoň třemi různými směry
- Křižovatkový podpěrný bod (K) - ohraničuje ve vedení jednotlivá rozpětí nebo kotevní úsek, kterým přechází přes koridor železničních drah
- Podpěrné body kombinované - slouží současně více účelům a značí se například KV, KR, RV, OV

Podle účelu podpěrného bodu se významně liší jeho provozní zatížení. Proto existuje celá řada stožárů, ke kterým se přiřazují konzoly patřičného tvaru a pevnosti.



Obr. 2: Linka venkovního vedení VN 22kV – systém konzol PAŘÁT-II na betonových sloupech (u obce Dolní Věžnice, okres Havlíkův Brod)



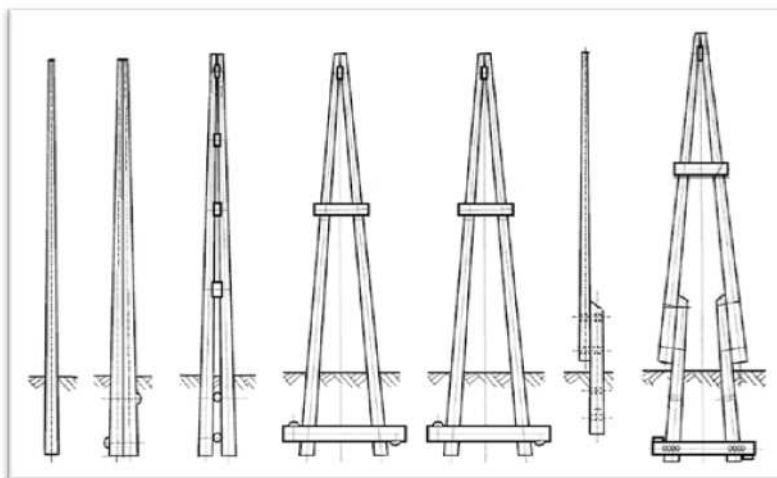
Obr. 3: Půdorysné schéma základních typů podpěrných bodů. Nosný PB (vlevo), rohový PB (uprostřed), koncový PB (vpravo)

### 3.1.2 Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN

Stožár podpěrného bodu je obecně prvek štíhlého tvaru, jehož spodní část (pata) je vetknutá do země a vrchní volná část (hlava) je určena pro upnutí konzol. Pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR se používají převážně tyto druhy stožárů:

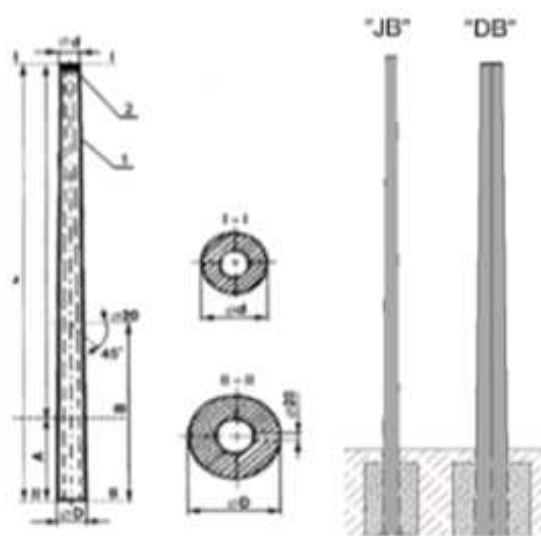
- Dřevěné sloupy
- Betonové sloupy
- Příhradové stožáry

Dřevěné sloupy se aplikují především v lesních průsecích, chráněných krajinách oblastí a v členitém terénu, kam se nedostane těžká technika. Jejich cena je v porovnání s ostatními druhy stožárů výrazně nižší, přitom životnost může dosáhnout až příznivých padesáti let. Životnost sloupů zapaštěných přímo do země je nepříznivě ovlivněna hnilobou, kterou lze zamezit vhodnou impregnací, nebo umístěním sloupů na železobetonové patky. Dřevěné sloupy se vyrábí v ČR z rostlých jehličnatých stromů (smrk, borovice a jedle) o průměru hlavy od 16 do 210 [cm], délka dosahuje 8 až 15 m. Aktuálně se rozlišuje několik sloupových provedení, které unesou namáhání v hodnotách od 5 do 15 kN viz obr. 4.



Obr. 4: Typy dřevěných stožárů: a) J, b) D, c) U, d) Š, e) A, f) J<sub>p</sub>, g) Š<sub>p</sub> nebo A<sub>p</sub> (p – na železobetonových patkách)

Betonové sloupy jsou nejrozšířenějšími stožáry podpěrných bodů pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR. Cena je vyšší než u dřevěných sloupů, zato větší dovolené vrcholové zatížení od 1,5 do 25 kN umožňuje projektantům prodloužit pole mezi podpěrnými body za určitých podmínek až na 180 m. Sloupy jsou v celé délce konické a obsahují střední průchozí otvor (obr. 5). Vyrábí se opět v různých odstupňovaných délkách od 9 do 15 m a průměrech hlavy 180 – 225 mm. Výroba probíhá odstředivou technologií ve speciálních nedělených formách s předem uloženou předepjatou ocelovou výztuží, která se zalévá betonovou směsí. Pro urychlení výrobního procesu se forma vyhřívá. Betonové sloupy se staví v jednoduchém (JB), nebo dvojitém (DB) provedení, s nutností provedení betonového základu. Na stavbě se dovybavují plastovými čepicemi, aby se zamezilo vnikání dešťové vody do středových otvorů.



Obr. 5: Typy betonových sloupů

Příhradové stožáry venkovního vedení VN (dále jen PS) se využijí při vzniku velkého vrcholového zatížení, nebo při potřebě dostat vodiče vysoko nad terén. Vzhledem k vysoké ceně se aplikují pouze je-li to nezbytné. Výška PS dosahuje až 24 m a dovolené zatížení ve vrcholu od 20 do 80 kN. Příhradové stožáry novější výroby se skládají ze dvou nebo tří dílů, které se montují šroubovými spoji. Spodní díly jsou konické, kdežto vrchní díl má konstantní šířku čtvercového průřezu pro snazší upevnění vrcholových konzol. Jendotlivé díly jsou svařené ze čtyř rohových stojin ve tvaru profilu L, které se vyztužují po obvodu diagonálami. PS je rovněž vetknut do betonového základu.

### 3.1.3 Vodiče pro VN

Pro výstavbu venkovního vedení se používají v ČR nejčastěji tyto druhy vodičů:

- Holé kombinované lano (AlFe)
- Jednoduchý izolovaný vodič (JIV)
- Kabel VN (závěsný / samonosný)

Holé kombinované lano je používáno ve venkovních vedeních vysokého napětí pro přenos elektrické energie, kde je třeba při dobré vodivosti i velké pevnosti. Je použitelné ve všech námrazových oblastech a pásmech znečištění. Odolává běžným povětrnostním podmínkám, ale dlouhodobé působení ovzduší znečištěného chemickými látkami vodič poškozuje. Značení udává základní informace o výrobku a souvisí s podrobným popisem uvedeným v katalogu výrobků. Konstrukce lana je soustředná. Duše ze slaněných ocelových drátů je šroubovitě ovinuta vrstvami z hliníkových drátů. Kombinovaná hliníková lana s ocelovou duší (AlFe lana) se vyrábějí podle požadovaného průřezu s jednou až čtyřmi vrstvami hliníkových drátů. Hliníkové dráty se vyrábějí z elektro-vodivého hliníku (Al 99,5 %) v průměrech od 1,6 do 4,0 mm. Ocelové dráty jsou chráněny proti korozi žárovým zinkováním [12].

Při výrobě jsou jednotlivé vrstvy stáčeny v opačném směru, aby se zabránilo samovolnému rozplétání. E.ON ČR s.r.o. používá nejčastěji pro venkovní vedení distribuční soustavy 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe, nebo 110/22 AlFe. Typové označení **42/7 AlFe** znamená [12]:

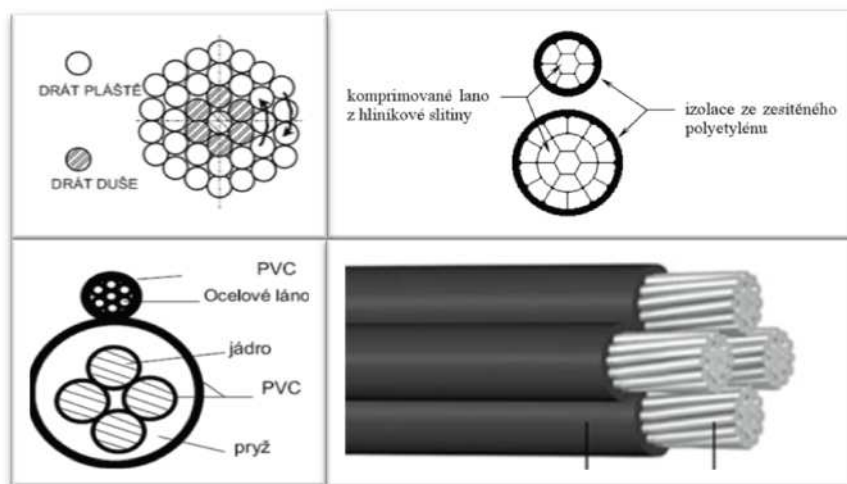
**42** jmenovitý průřez hliníkového pláště [mm<sup>2</sup>]

**7** jmenovitý průřez ocelové duše [mm<sup>2</sup>]

**AlFe** kombinace materiálů (hliník a železo)

Jednoduché izolované vodiče jsou určeny především do lesních průseků, ale lze jimi rovněž řešit těžko průchodná území zástavby s malými vzdálenostmi od budov a konstrukcí. JIV je tvořen prostým komprimovaným lanem s jednou vrstvou izolace. Lano je vyrobeno z materiálu známého pod obchodním názvem Aldrey, což je slitina hliníku (Al), magnézia (Mg) a křemíku (Si). Po stočení je lano průběžně lisováno (komprimováno), aby se zmenšil volný prostor mezi slaněnými dráty. Vrstva izolace v tloušťce 2,3 mm je ze zesíťovaného polyetylénu (XLPE). Vodiče opatřené touto izolací se považují za vodiče se základní izolací a musí se proto upevňovat na izolátory.

Venkovní vedení s JIV lze budovat ve vodorovném (vedle sebe) nebo svislém (pod sebou) uspořádání fázových vodičů jednoho systému vedení. Z praktických důvodů bez ohledu na průhyb a délku rozpětí je stanovena mezifázová vzdálenost na 0,5 m. Při styku fázových vodičů nedojde k přeskoku nebo zkratu. Nejznámějším výrobcem těchto vodičů je společnost NOKIA (Finsko) [12].



Obr. 7: Druhy vodičů - AIFe (nahore vlevo), JIV (nahore vpravo), závěsný kabel AYKYz (dole vlevo), samonosný kabel AES (dole vpravo) [12].

Samonosné kabely typu AES jsou složeny ze stočených žil, které obsahují hliníkové jádro a vrstvu izolace z PE, odolnou proti UV záření. Kabel AYKYz je tvořen z izolovaných hliníkových žil, stočených do duše kabelu a lana z ocelových pozinkovaných drátů. Duše je uložena v obalu vyplněném gumou. Ocelové lano a duši chrání ještě plášť z PVC [12].

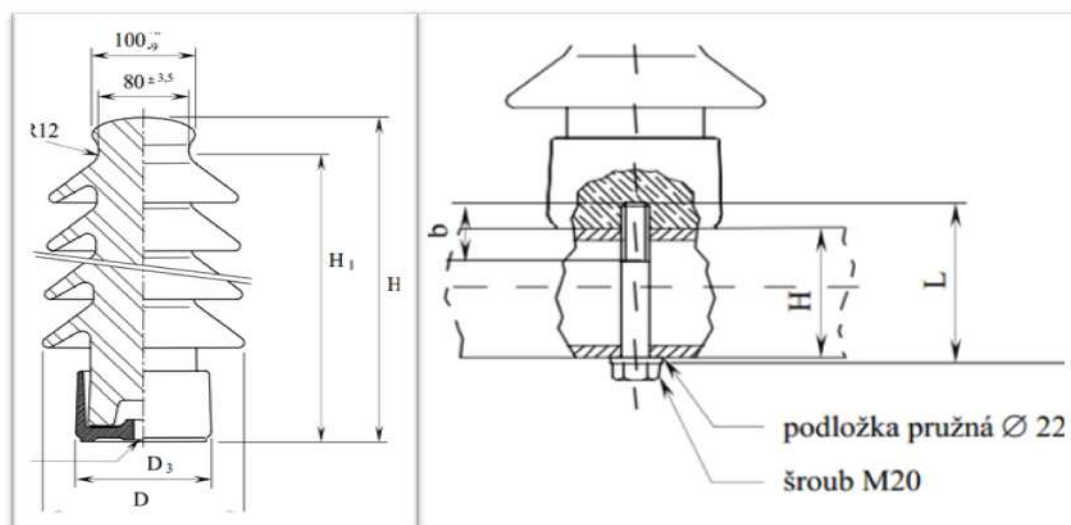
### 3.1.4 Izolátory pro VN

Izolátory jsou nezbytným příslušenstvím pro izolované připevnění živých vodičů ke konzolám vysokého napětí. V ČR se nejčastěji používají tyto typy izolátorů:

- Podpěrné izolátory
- Závěsné (kotevní, tahové) izolátory

Podpěrný izolátor (obr. 8) se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné konzoly v rovných úsecích vedení, na rohové konzoly pokud není překročeno jeho dovolené namáhání a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu [12].

Charakteristické pro tento typ je, že má nejkratší průraznou dráhu v tuhém izolačním materiálu rovnou nejméně polovině délky nejkratší přeskokové vzdálenosti vzduchem vně izolačního tělesa. Na výrobu izolátorů se nejčastěji používá keramika a různých kompozitů. Podpěrný izolátor se skládá z izolačního podpěrného dřívku a z patní armatury. Tvar hlavy dřívku určuje způsob upevnění vodiče k izolátoru, výběr armatury a způsob upevnění podpěrného izolátoru ke konstrukci podpěrného bodu. Podle tvaru hlavy dřívku se dělí na VPA a VPAv [12].



Obr. 8: Podpěrný keramický izolátor typu VPA (výrobce - Elektroporcelán a.s., Louny) [12].

Závěsný izolátor se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné body v rovných úsecích vedení, na rohové body, na kotevní body a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu. Izolátor je typu A - neprůrazný, je vyroben podle technických podmínek výrobce Reliable Ohio, USA. Jádrem dřívku je ze skelného vlákna navinuté mnoha závitů do smyčky tvaru „∞“ která je upravena pro spoj oko a vidlice přímé s čepem. Do otvorů ve smyčce jsou vsazena galvanicky pokovená pouzdra pro čepy. Ve formě je na smyčku nalisován plášť včetně stříšek ze silikonové pryže. Jejich tvar umožňuje nerozlišovat způsob zavěšení. Povrch izolátoru je šedý, hladký, matně lesklý a souvislý. Závěsný izolátor se zapřáhne ke konstrukci pomocí různých kotevních svorek a kloubů, se kterými tvoří tzv. „kotevního řetězce“ viz obrázky č. 9 a 10 [12].



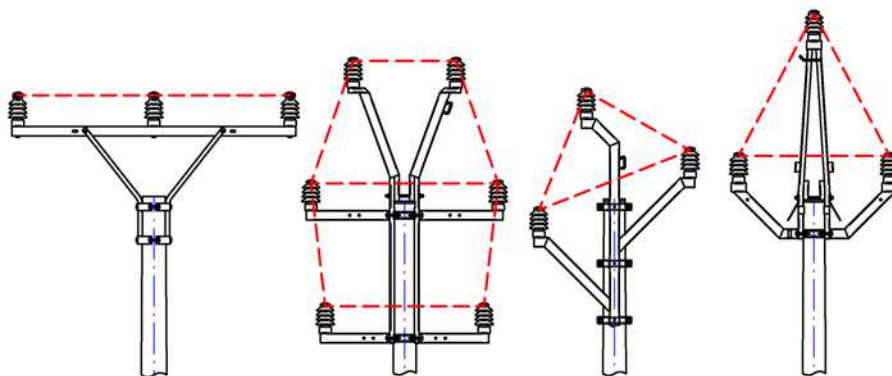


Rozdělení konzol podle účelu podpěrného bodu:

- Nosná (N) – pro účely nosného podpěrného bodu
- Rohová (R) – pro účely rohového a výztužného podpěrného bodu
- Koncová (K) – pro účely koncového podpěrného bodu

Rozdělení konzol podle druhu vodičů a jejich geometrického uspořádání:

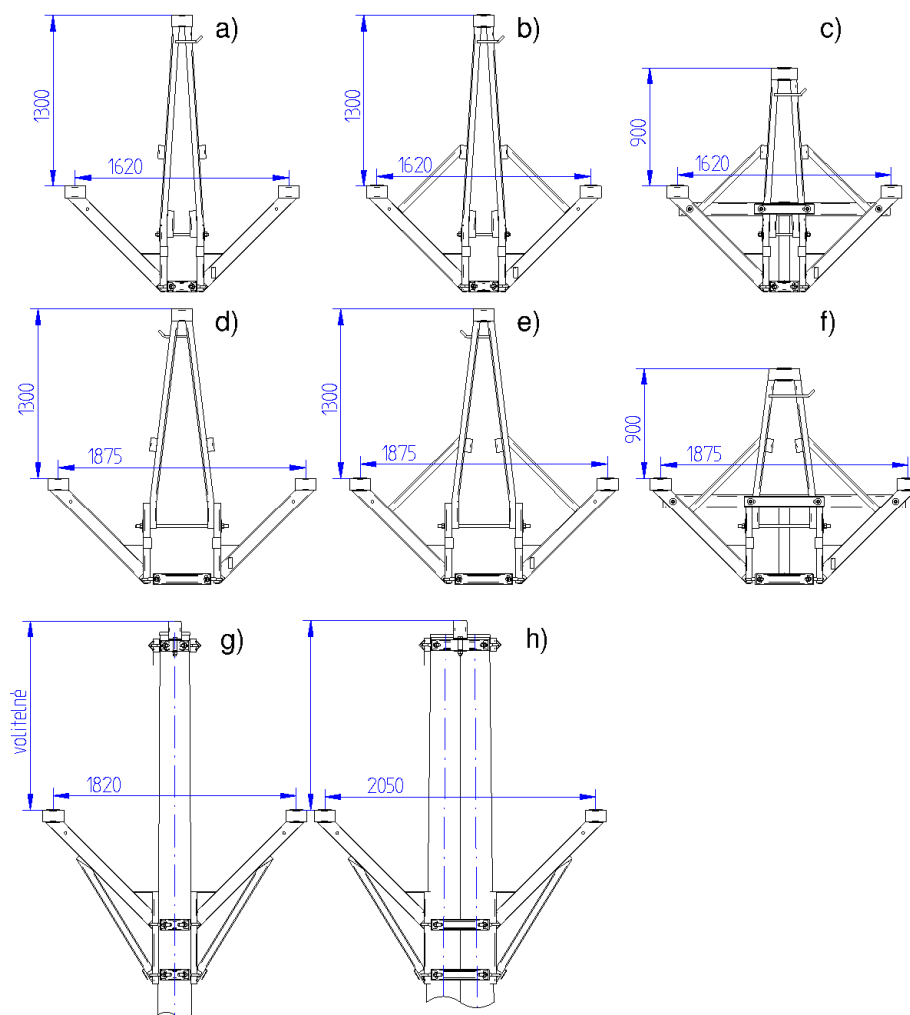
- Pro holá kombinovaná lana (AlFe), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Pařát (trojúhelníkové)
  - Šestivodič
- Pro jednoduché izolované vodiče (IZVE), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Rovinné
  - Vertikální
  - Šestivodič



Obr. 11: Typy konzol podle rozměrového uspořádání holých vodičů (AlFe): Zleva: rovinná konzola, šestivodič, stromeček a pařát (na obrázcích jsou nosné konzoly na JB)

Snahou výrobní společnost ES je navrhovat konzoly tak, aby se daly použít v jednom zvoleném uspořádání vodičů na všechny typy betonových a dřevěných stožárů, pro základní účely podpěrných bodů. Takto nastavenou koncepcí vznikají tzv. komplexní „systémy konzol“. Příklad nejpoužívanějšího systému v ČR na betonové sloupy (pro vodiče AlFe) je na obrázku č. 12.

Konzoly PAŘÁT-II lze montovat pro účely nosného, rohového i koncového podpěrného bodu a to jak na betonové sloupy v provedení JB i DB o průměru hlavy 180 – 250 [mm]. Výhody těchto konzol spočívají v jednoduché montáži pomocí svorníku a stavitelných třmenových objímek. Konzoly jsou symetrické, montují se přesně do os sloupů, tím je přenášeno zatížení do vrcholu sloupu příznivěji.



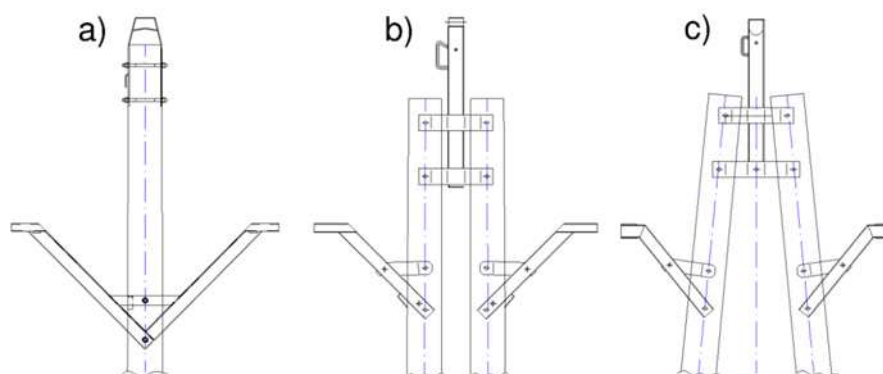
Obr. 12: Systém konzol PARÁT-II na betonové sloupy: a) JB-N, b) JB-R, c) JB-K, d) DB-N, e) DB-R, f) DB-K, g) JB-40kN h) DB-40kN

Venkovní vedení si daleko lépe počíná v trojúhelníkovém uspořádání vodičů s pády stromů na vedení. Tíha nahnutého stromu se většinou rozloží mezi dva vodiče (krajní a horní) a vodiče se většinou nepřetrhnou. Trojúhelníkové uspořádání vodičů je oproti rovinnému výhodné i proto, že je štíhlejší a při respektování dovolených vzdáleností od objektů se snáze vejde do nahuštěné zástavby. Dále se snáze provádí údržba izolátorů, protože na ně montér dosáhne přímo z konzoly. Konzoly jsou konstruovány vhodnými profily opatřené různými otvory a navařenými kapsami pro montáž doplňujících prvků, jako jsou: montážní stupačky, montážní kladky, kotvy pro uchycení montéra při práci ve výškách, boční nosníky pro podepření svodových vodičů, praporce pro aplikaci bezpečnostního závěsu apod. Konzoly PARÁT vykazaly i mírné snížení úrazů a úhynů volně žijícího ptactva zásahem elektrického proudu.



Obr. 13: Konzola PAŘÁT-II-DB-N (vlevo), konzola PAŘÁT-II-DB-R (vpravo) [7]

Konzoly typu PAŘÁT jsou ve stejném typovém rozsahu zkonstruovány i pro dřevěné stožáry (systém konzol PAŘÁT-DS) viz ukázka na obrázku č. 14.



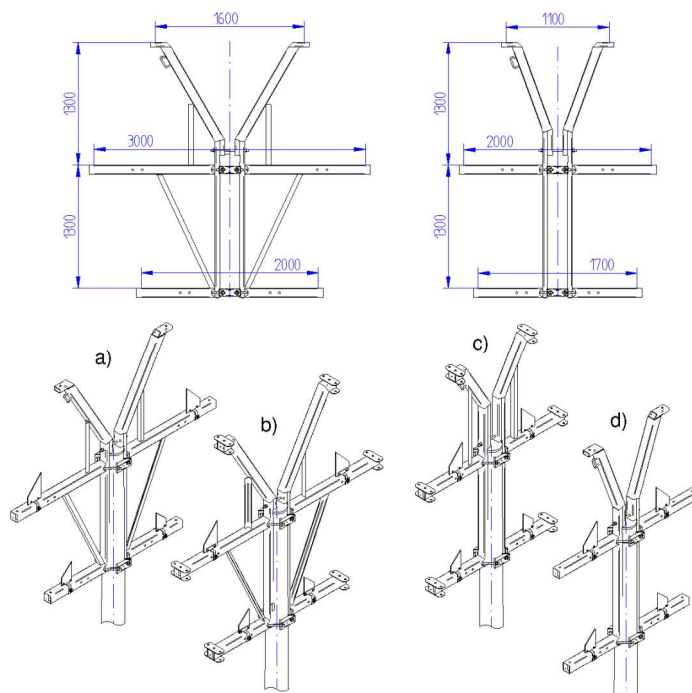
Obr. 14: Konzoly systému PAŘÁT na dřevěné sloupy: a) DS-N-J, b) DS-N-U, c) DS-K-A

Konzoly PAŘÁT se dimenzují na odolnost vůči provoznímu zatížení vztaženému k jednomu vodiči linky, na které poukazuje tabulka č. 1. Provozní zatížení je podrobněji vysvětleno v kapitole 3.3.

tab. 1: Dovolené provozní zatížení konzol jedním vodičem, stanovené výrobcem [7].

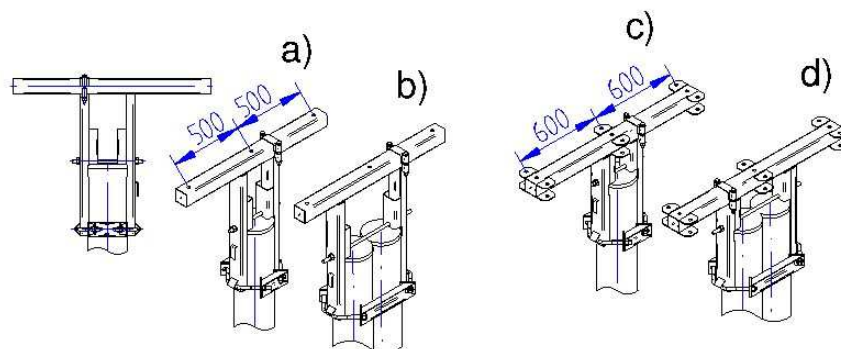
| Systém konzol | PAŘÁT-II (na betonové sloupy) |      |      |      |       |       | PAŘÁT-DS (na dřevěné sloupy) |        |        |        |        |        |
|---------------|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Typ konzoly   | JB-N                          | DB-N | DB-R | DB-K | JB-40 | DB-40 | DS-N-J                       | DS-N-Š | DS-N-U | DS-N-A | DS-K-Š | DS-K-A |
| F1 [kN]       | 3                             | 3    | 5    | 9,3  | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      |
| F2 [kN]       | 3                             | 3    | 9,3  | /    | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 9,3    | 9,3    |
| F3 [kN]       | 7                             | 7    | 7    | 7    | 13    | 13    | 7                            | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      |

Konzoly ze systému šestivodič (obr. 15) umožňují upnutí dvou linek VN na jednom stožáru. Tento systém je rovněž určený pro vodiče AlFe. Kvůli zvětšenému provoznímu zatížení se na dřevěné sloupy nekonstruuje. Používají se převážně při rozvodu linek VN u rozveden. Dvojité vedení se ovšem mnohem častěji aplikuje na pevnější příhradové stožáry.

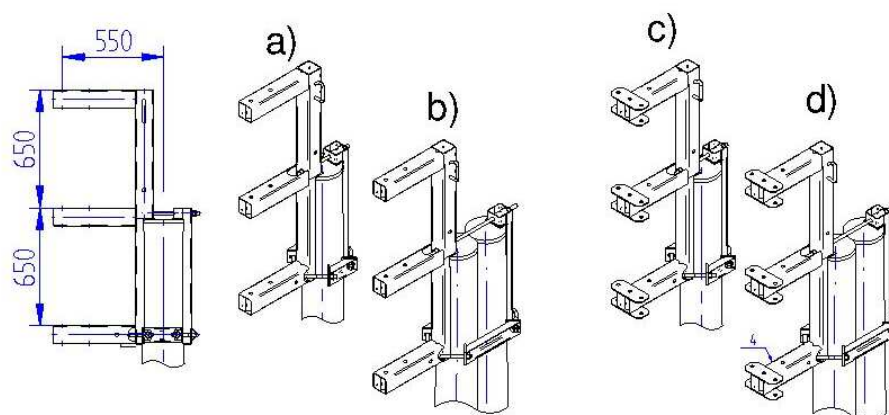


Obr. 15: Systém konzol šestivodič na betonové sloupy: a) 1600/3000/200-N-JB, b) 1600/3000/2000-R-JB, c) 1100/2000/1700-K-JB, d) 1100/2000/1700-N-JB

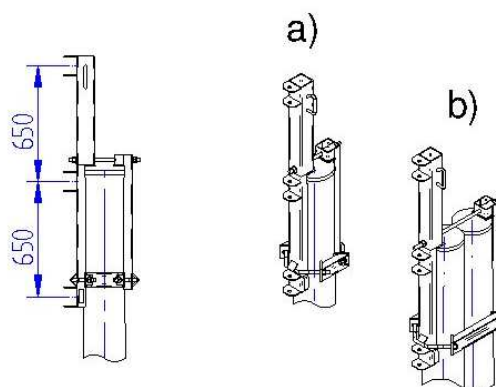
Konzoly pro jednoduché izolované vodiče (IZVE) dovolují menší mezifázové vzdálenosti. Vedení je kompaktní, používá se v lesních průsecích a zástavbě. Pro jednoduchá vedení se vyrábí v horizontálním (obr. 16) i vertikálním rozměrovém uspořádání (obr. 17 a 18), jak na betonové sloupy, tak i dřevěné. U dvojnásobného vedení je konzola konstruována pouze na betonové sloupy (obr. 19).



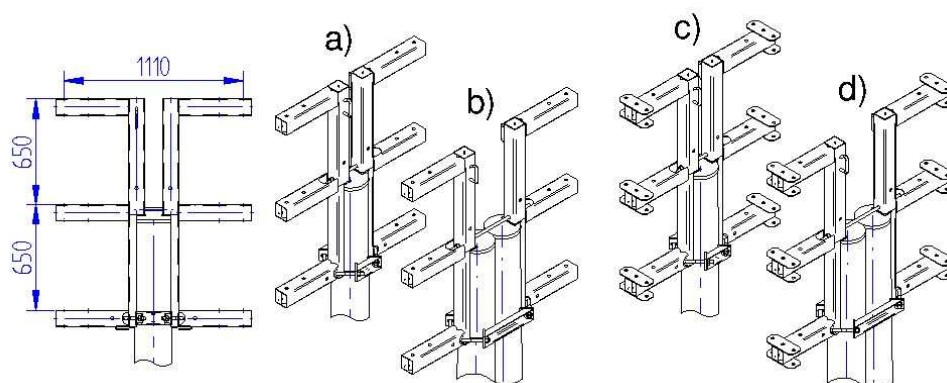
Obr. 16: Systém rovinných konzol 3xIZVE-II: a) 3xIZVE-II-JB-N, b) 3xIZVE-II-DB-N, c) 3xIZVE-II-JB-K, d) 3xIZVE-II-DB-K



Obr. 17: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-N, b) 3xIZVE-svisláI-DB-N, c) 3xIZVE-svislá-JB-K, d) 3xIZVE-svislá-DB-K



Obr. 18: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-R, b) 3xIZVE-svisláI-DB-R



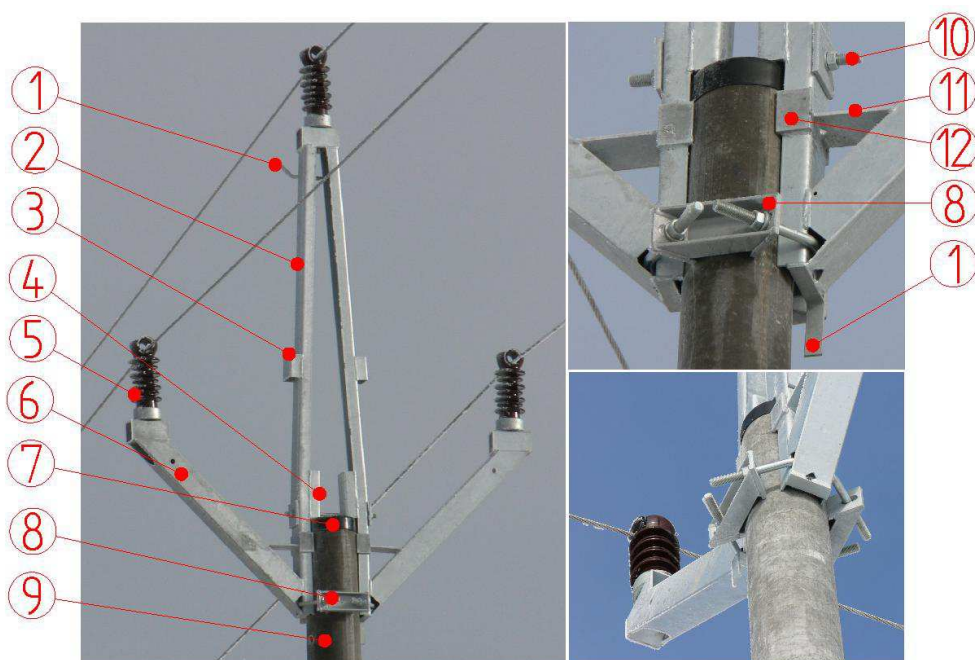
Obr. 19: Systém svislých konzol 6xIZVE: a) 6xIZVE-svislá-JB-N, b) 6xIZVE-svisláI-DB-N, c) 6xIZVE-svislá-JB-K, d) 6xIZVE-svisláI-DB-K

Z předchozích obrázků je patrné, že typologie vrcholových konzol je velmi rozsáhlá, proto se tato práce bude dále detailněji zabývat pouze jedním konkrétním typem PAŘÁT-II-JB-N, na kterou jsou kladeny nové požadavky od distributora.

### 3.1.6 Konzola PAŘÁT-II-JB-N

Konzola PAŘÁT-II-JB-N je konstruována pro nosný účel tak, aby šla upnout na hlavu jednoduchého betonového sloupu o průměru od 180 do 250 [mm]. Skládá ze středního nosného ramene, ke kterému jsou přivařena boční ramena. Na každé rameno lze pomocí spojovacího materiálu namontovat podpěrný izolátor. Na středním nosném rameni jsou přivařeny držáky pro montážní stupačku a v horní části bezpečnostní kotva pro osobní zajištění pracovníka při práci ve výšce. Kotva přesahuje profil a je zahnuta do tvaru háku, pro případné odložení horního vodiče při výměně izolátoru. V dolní části středového ramene je přivařen zemnicí pásek. Součástí konzoly JB a DB je stavitelná třmenová objímka, která se skládá ze dvou kotevních segmentů a dvou svorníků tvaru otevřeného U.

Konzola a tělo objímky se svařuje z normalizovaných, za tepla válcovaných tvarově jednoduchých profilů. Veškeré použité profily (viz výrobní výkres v příloze 1) jsou z oceli S235JR (11 373), značené podle ČSN EN 10025. Samotná svařená konzola musí být dostatečně dimenzována, tak aby unesla stanovené provozní zatížení. Dostatečnou pevnost musí prokázat jak zvolený základní materiál jednotlivých dílců, tak i svarové spoje mezi dílci. Samotná pevnost ovšem nezaručí plnou funkčnost konzoly, ta totiž spočívá i v tuhosti upnutí na hlavě betonového sloupu.



Obr. 20: Popis konzoly PAŘÁT-II-JB-N: 1) bezpečnostní kotva, 2) střední rameno, 3) držák zásuvné montážní stupačky, 4) podpěra, 5) Podpěrný izolátor, 6) boční rameno, 7) čepice, 8) stavitelná třmenová objímka, 9) betonový sloup, 10) svorník M20, 11) výztuha bočního ramena, 12) opěrná deska [7].

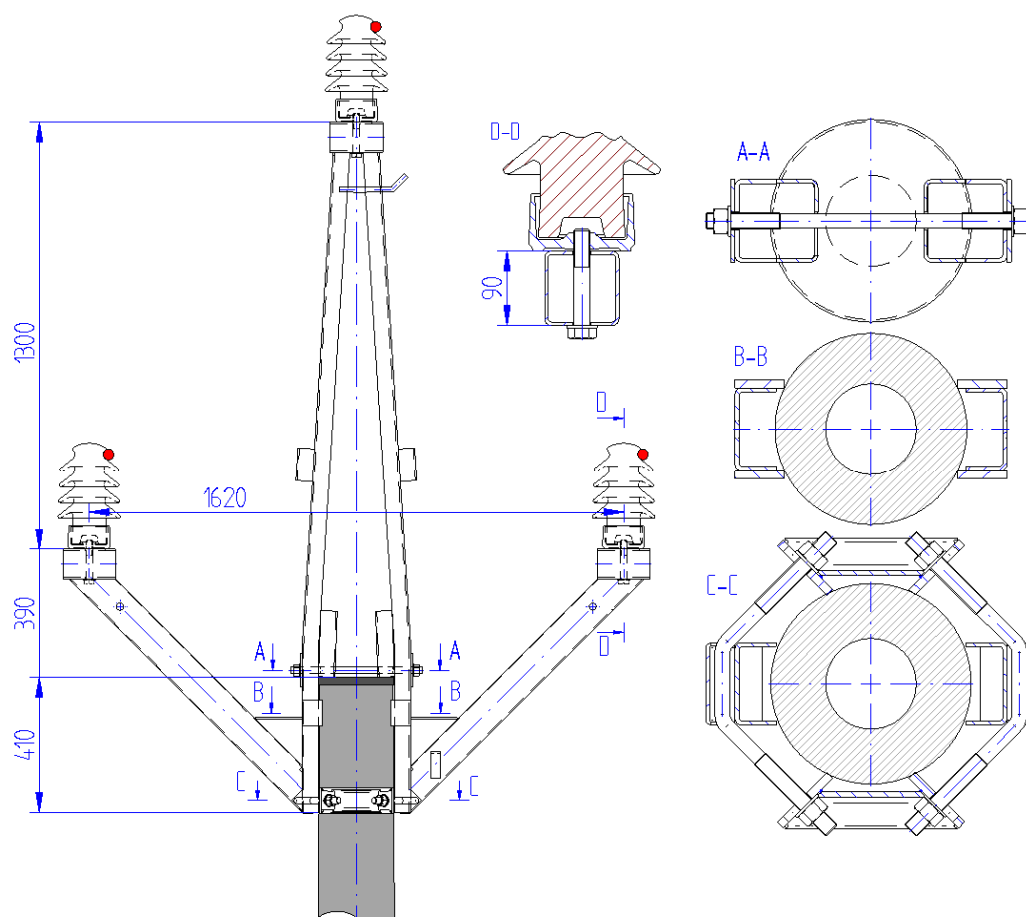


Problematika tuhého upnutí je velice komplikovaná a ve společnosti ES se ověřuje v rámci zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu. Konzola PAŘÁT-II-JB-N se dotýká hlavy betonového sloupu celkem ve 14 pomyslných kontaktech. Správnou polohu ve vertikálním směru zajišťují podpěry navařené z vnitřní části středového ramena (pozice 4 na obr. 20 a řez A-A na obr. 21). Podpěry slouží jako doraz, o který se konzola usadí při nasazování na hlavu sloupu. V tomto okamžiku může konzola již jen rotovat kolem osy sloupu.

Konzola musí udržovat stálou polohu vůči sloupu, po celou dobu životnosti. Tuhost upnutí vůči prokluzu se splní dotažením dvou matic svorníku M20, který prochází skrz podpěry a středové rameno těsně nad hlavou betonového sloupu (řez A-A na obrázku č. 21) a dotažením čtyř matic M20 tvarovaných svorníků (řez C-C na obrázku č. 21). Po dotažení všech matic, se čtyři opěrné silně zaříznou do betonového sloupu (cca 1-3mm). Tvarované svorníky třmenové objímky stahují profily středového ramena do osy sloupu a segmenty objímky se opět zaříznou do betonového sloupu čtyřmi ostrými hranami. Tento osvědčený způsob upnutí je použit na všech konzolách systému PAŘÁT-II, kterých se vyrobilo od roku 2005 přes 30 000 kusů. Zaručená tuhost upnutí vůči usmýknutí je důležitá v okamžiku, kdy se přetrhne jeden krajní vodič v lince a způsobí mírnou nerovnováhu působících sil. Nerovnováha sil může vzniknout i při samotné výstavbě venkovního vedení, kdy se natahují vodiče linky.

Utahovací moment matic není stanoven, protože se ostré hrany konzoly zařezávají v praxi do betonových sloupů pokaždé jinak hluboko a je obtížné ho analyticky vyjádřit.

Konzola obsahuje různé otvory a profily přizpůsobené velikosti, pro použití montážních přípravků. Montážní přípravky zjednodušují výstavbu a provoz venkovního vedení. Boční ramena obsahují otvory o průměru 22 [mm], do kterých se vkládají na stavbách montážní kladky pro natahování vodičů. Konzola je dále opatřena kapsami, navařenými na profilech středového ramena, do kterých se zasunují montážní stupačky. Konstrukce nesmí obsahovat uzavřené dutiny a kapsy. Pokud to konstrukce neumožní sama svým tvarem, musí se do dílců vystříhnout tzv. technologické otvory, tak aby po žárovém zinkování mohl tekutý zinek samovolně vytéct z konstrukce zpět do nádrže.



Obr. 21: Upnutí konzoly PARÁT-II-JB-N na betonovém sloupu JB

Podle nového požadavku, přijatého od distributorů a provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o., je geometrie konzoly PARÁT-II-JB-N nevyhovující. Požadavkem pro návrh nové konzoly PARÁT-III-JB-N je prodloužit vertikální vzdálenost mezi horním a krajním vodičem z 1200 na 1500 [mm]. Dále se musí zachovat vzdálenost horního vodiče od hlavy sloupu 2100 [mm] a horizontální mezifázovou vzdálenost 1620 [mm].

## 3.2 Navrhování konzol

### 3.2.1 Zákonné požadavky

Konzola je právně klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, protože se natrvalo zabuduje do inženýrských staveb určených pro energetiku. To znamená, že musí výrobce respektovat příslušné zákony o stavebních výrobcích, technické normy a prokázat způsobilost k výrobě od akreditované organizace



Před uvedením výrobku na trh musí dále výrobce zajistit shodu vlastností výrobku s technickými předpisy, vydanými podle § 13 odstavec zákona 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů v platném znění a dle § 5 nařízení vlády č. 190/2002 Sb. v platném znění, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky označované CE, v souladu se směrnicí 89/106 EHS Rady Evropských společenství o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích – CPD), ve znění směrnice 93/68 EHS Rady Evropských společenství.

Konzola se vyrábí technologií svařování, tedy tzv. zvláštním procesem, u kterého se jakost nedá zajistit pouhými kontrolami. Proto je nutné chápat svařování jako komplexní proces, který prolíná celým spektrem činnosti výrobní organizace. Aby mohl výrobce zajistit požadovanou kvalitu výrobku, musí implementovat systém managementu kvality podle ČSN EN ISO 9001:2008, ve kterých je proces svařování dále specifikován normou ČSN EN ISO 3834-1 až 6. Kvalita výroby je řízena normou ČSN EN 1090-2 provádění ocelových konstrukcí. Výrobu ocelových konstrukcí mohou tudíž provádět pouze firmy s příslušným oprávněním podle normy ČSN EN 1090-1, ve které se odkazuje při navrhování stavebních konstrukcí na Eurokódy, začleněné do systému ČSN. Pro svařované ocelové konstrukce je to konkrétně EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.

Konzoly se pro zákazníky v ČR dále navrhují v souladu s podnikovou normou energetiky - PNE 33 3301 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV do 45kV včetně, která navazuje na evropskou normu EN 50 423:2005 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV AC do 45kV tak, aby společně s dalšími prvky venkovního vedení byla zaručena provozní bezpečnost.

Dalším kritériem pro navrhování konzol je Energetický zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny v platném znění, který stanovuje povinnost budovat nové venkovní vedení bezpečně vůči živočichům, speciálně vůči volně žijícím ptákům. Novela tohoto zákona 211/2011 Sb. povinnosti rozšiřuje a stanovuje povinnost zabezpečit před smrtelným úrazem ptactva nejen nové venkovní vedení, ale i všechna existující vedení – původní, nová i rekonstruovaná. Bezpečnost konzol vůči volně žijícím ptákům posuzuje Agentura ochrany přírody a krajiny v ČR (AOPK), která je v této věci pověřená Ministerstvem ochrany životního prostředí. Každá nová vrcholová konzola vysokého napětí musí obdržet kladné odborné stanovisko od AOPK.

### 3.2.2 Elektrické požadavky

Venkovní vedení se musí navrhovat a stavět tak, aby po dobu plánované životnosti [1]:

- sloužilo svému účelu ekonomicky, s přijatelnou úrovní spolehlivosti.
- odolávalo šíření poruchy
- nebylo příčinou zranění, ohrožení života nebo majetku při výstavbě, provozu a údržbě
- bylo bezpečné pro veřejnost
- bylo přijatelné z hlediska vzhledu a životního prostředí
- musí plnit požadavky bezpečné práce ve výškách pro údržbu a montáž doplňujícího zbrojení

#### 3.2.2.1 Spolehlivost venkovních vedení

Požadované spolehlivosti venkovních vedení se dosáhne, budou-li z hlediska zatížení navrženy v souladu s normou PNE 33 3301. Pro navrhování venkovních vedení do 45kV včetně, jsou v souladu s metodou obecného přístupu zavedeny čtyři úrovně spolehlivosti v závislosti na době návratu  $T$  klimatických zatížení, viz tabulka 2 [1].

Tab. 2: Úrovně spolehlivosti [1]

| Úroveň spolehlivosti | Doba návratu $T$ klimatických zatížení [roky] |
|----------------------|-----------------------------------------------|
| 0                    | 20                                            |
| 1                    | 50                                            |
| 2                    | 150                                           |
| 3                    | 500                                           |

Všechna venkovní vedení musí odpovídat alespoň úrovni 0, s výjimkou dočasných staveb, nebo provizorních přeložek. Úroveň spolehlivosti 1 je považována za referenční [1].

#### 3.2.2.2 Klasifikace napětí

Jmenovité napětí, nejvyšší napětí a požadovaná výdržná napětí pro dvě nejužívanější hladiny napětí ve venkovních sítích uvádí tabulka 3 [1].

Tab. 3: Jmenovitá, nejvyšší a výdržná napětí sítě [1]

| Jmenovité napětí $U_n$ [kV] | Nejvyšší napětí $U_s$ [kV] | Požadované výdržné napětí      |                            |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                             |                            | za deště $U_{rw\ 50\ Hz}$ [kV] | za sucha $U_{rw\ LI}$ [kV] |
| 22                          | 25,0                       | 50                             | 125                        |
| 35                          | 38,5                       | 75                             | 180                        |

### 3.2.2.3 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoku

„Ke stanovení nejkratších vzdáleností byla použita empirická metoda založená na zkušenosti s dlouhodobě provozně ověřenými vzdálenostmi. Hodnoty v tabulce 4 jsou vymezeny pouze pro holé vodiče do nadmořské výšky 1000m. Pro nadmořskou výšku nad 1000m se nejkratší vzdálenost zvětší o 1% na každých započatých 100m.

Tab. 4: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  a  $D_{pp}$  - pro vnitřní vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]                           | $D_{pp}$<br>[m]                                   | $D_{pp}$<br>[m]                            |
|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 25,0                               | 0,23                                      | 0,26                                              | 0,70                                       |
| 38,5                               | 0,38                                      | 0,45                                              | 0,70                                       |
| Poznámky                           | Mezi fázovými vodiči<br>a podpěrným bodem | Mezi fázovými vodiči<br>jednoho systému<br>vedení | K fázovým vodičům<br>jiných systémů vedení |

Tab. 5: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  - pro vnější vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Pro všechna napětí                 | 0,6                           |
| Poznámky                           | K zemi a ostatním<br>objektům |

kde je:

$D_{pp}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoku mezi fázovými vodiči při přepětích s rychlým nebo s pomalým čelem.  $D_{pp}$  je vnitřní vzdálenost.

$D_{el}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoku mezi vodiči a objekty na potenciálu země, při přepětích s rychlým nebo pomalým čelem.  $D_{el}$  může být buď vnitřní, když se uvažují nejkratší vzdálenosti mezi vodiči a konstrukcí podpěrných bodů nebo vnější, když se uvažuje nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objektem“ [1].

### 3.2.2.4 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoku

Mezi fázovými holými vodiči musí být jak při teplotě vodičů  $+40^{\circ}\text{C}$ , tak i při návrhovém zatížení námrazou dodržena alespoň vzdálenost  $b_{emp}$  [1].

$$b_{emp} = k_{emp} \cdot \sqrt{f + L_{ins}} + c_{emp} \cdot D_{pp} \quad (3.1)$$

kde je:

$b_{emp}$  – minimální vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí [m]

|           |                                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $f$       | větší z průhybů vodičů [m]                                                              |
| $L_{ins}$ | svislá délka nosného izolátorového závěsu [m]                                           |
| $D_{pp}$  | nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič [m]                                     |
| $c_{emp}$ | konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností se bere $c_{emp}=0,6$ [ / ]               |
| $k_{emp}$ | součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce. |

Pro izolační závěsy, které se nemohou vychylovat ve směru kolmém k ose vedení, podpěrné izolátory a pro pevné izolační konzoly se bere  $L_{ins} = 0$ . Součinitel  $k_{emp}$  se určí dle vztahu (3.2) [1].

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d / g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right] [ / ] \quad (3.2)$$

kde je:

|          |                                                                                                                                                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d$      | průměr neomrzlého vodiče [m]                                                                                                                                                                            |
| $g_c$    | tíha vodiče [N]                                                                                                                                                                                         |
| $\delta$ | úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí. Udává se ve stupních a nabývá velikosti od $0^\circ$ do $90^\circ$ . |

Se vzorcem (3.1) se dále bude pracovat v kapitole výpočtu provozního zatížení, kde je nutné stanovit maximální dovolenou vzdálenost mezi podpěrnými body podle rozměrového uspořádání vodičů na konzole. Maximální dovolená vzdálenost mezi podpěrnými body limitována právě i dovoleným průhybem vodiče. Vzorec (3.1) se proto převede rovnou do tvaru, který vyjadřuje maximální průhyb vodiče mezi podpěrnými body z navrženého rozměrového uspořádání vodičů na konzole.

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 \quad (3.3)$$

### 3.2.3 Konstrukční požadavky

#### 3.2.3.1 Volba základního a přídatného materiálu

Má-li konstrukce splňovat požadavky na ni kladené, musí vyhovovat z hlediska spolehlivé pevnosti, tuhosti a stability. K tomu přistupují i hlediska ekonomická. Toto řeší pojem – technologičnost konstrukce [2].

Prvořadým kritériem pro volbu základního materiálu je potřebná únosnost při provozním namáhání – ať už statickém nebo cyklickém. Nutno je též zohlednit charakter provozních podmínek: teplota, cyklické namáhání, působení koroze apod. Důležitá je rovněž otázka svažitelnosti a případné nutnosti předehřevu. Zařazování materiálu do 11 skupin pro účely svařování uvádí směrnice: TNI CEN ISO/TR 15 608 (05 0323) [2].

Pro stavební ocelové konstrukce se používají různé konstrukční oceli. Pro nosné konstrukce se doporučuje značka S355, protože konstrukce vyráběná z této oceli bývá většinou levnější, než z oceli S235. Ocel S235 se nejčastěji používá pro nenosné a doplňkové konstrukce. Všechny moderní oceli jsou svažitelné. Požadavky na plechy a tvarované tyče vyrobené válcováním za tepla z konstrukčních ocelí stanovuje norma ČSN EN 10025 [2].

Společnost ES na základě dlouholetých zkušeností upřednostňuje aplikaci materiálu S235JR. Zároveň dbá na plné recyklaci konzol bez nutnosti jakýchkoliv úprav. To znamená, že jsou všechny dílce jednoho svařeného nerozebíratelného celku ze stejného materiálu.

Jmenovitá mez kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost a nejmenší hodnota vrubové houževnatosti přídatného svarového kovu, mají být stejné nebo lepší než je stanoveno pro základní materiál. Společnost ES svařuje konzoly technologií MAG, při kterých je použit přídatný materiál typu G3Si1 (podle EN 14341), v podobě drátu o průměru 0,8 a 1,0 [mm] viz příloha č. 21.

### 3.2.3.2 Volba tvaru a velikosti polotovarů

Tvar a velikost profilů samotných dílů se volí tak, aby velikost průřezu profilu zajistila dostatečnou pevnost vůči stanovenému provoznímu namáhání. Prioritně se vybírají normalizované řady tyčí a profilů válcované za tepla, které jsou ve společnosti ES zavedeny, viz tabulka č. 6. Volba profilu se provádí zároveň tak, aby bylo umožněno provést svary potřebného tvaru a velikosti.

Tab. 6: Nejpoužívanější profily používané ve společnosti ES

| Typ profilu<br>(ČSN<br>EN 10025) | TR 4HR<br>ČSN EN<br>10210-2 | Profil U<br>ČSN 42 6963 | Tyč PLO<br>ČSN 42 5340 | Plech<br>ČSN 42 5310 | Profil U<br>ČSN 42 5570 |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| Velikost<br>[mm]                 | 90x90x4                     | 80x40x4                 | 30x5 (8,10)            | P1,5                 | U80                     |
|                                  | 100x100x3                   | 100x50x4                | 40x5 (8,10)            | P2                   | U100                    |
|                                  | 100x100x5                   | 100x50x5                | 50x5 (8,10)            | P2,5                 |                         |
|                                  |                             |                         | 60x5 (8,10)            | P3                   |                         |
|                                  |                             |                         | 80x5 (8,10)            | P4                   |                         |
|                                  |                             |                         | 100x5 (8,10)           | P5                   |                         |

### 3.2.3.3 Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly

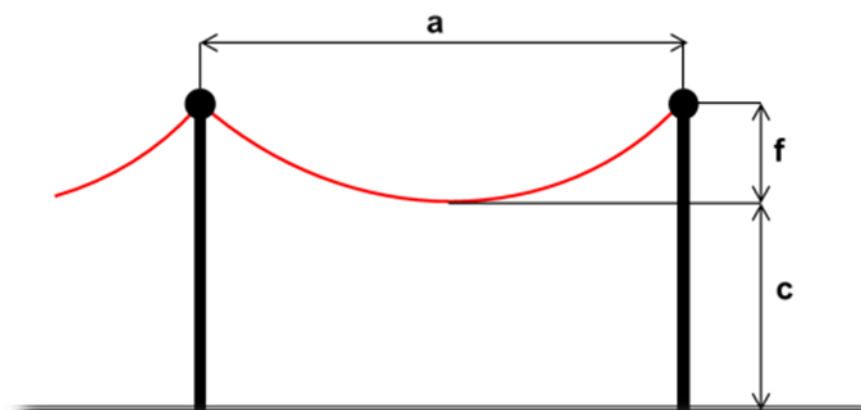
Na nové konzoly VN je od distributorů elektrické energie kladen zásadní požadavek zaměnitelnosti staré konzoly za novou, proto se při návrhu nového typu musí vždy uvažovat maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body z prvotně používaných konzol, které musí i nová konzola svým uspořádáním vodičů umožnit.

Na nové konzoly je současně kladen požadavek zachování trojúhelníkového uspořádání vodičů. Krajní vodiče na nové konzoly by neměly dosahovat vzdálenost od terénu výrazně nižší než prvotně vzniklé konzoly.

Historicky první řada vrcholových konzol v ČR vznikla současně se zahájením výroby betonových sloupů v 60. letech 20. Století. Soubor těchto konzol se značí rovinným (vodorovným) uspořádáním vodičů. Tehdy vznikly i první podklady pro projektování, vycházející z dnes již neplatné normy ČSN 34 1100 z roku 1972. Rozměrové uspořádání vodičů na rovinných konzolách umožňovalo vzdálenosti mezi podpěrnými body uvedené v tabulce 7.

Tab. 7 – Maximální vzdálenosti PB, podle geometrie prvotních rovinných konzol

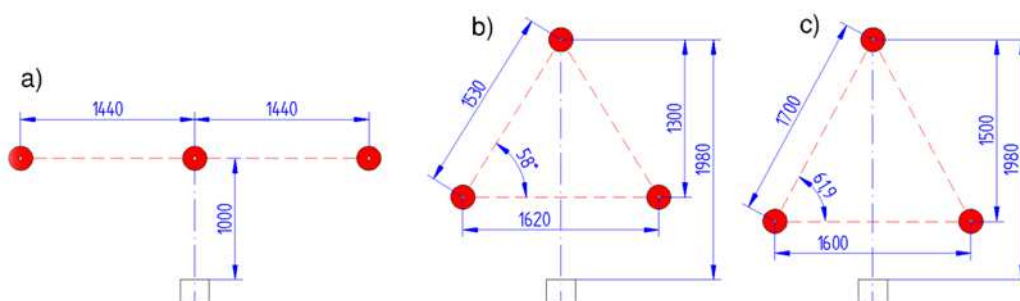
| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká |
| 42/7 AlFe    | 127                                                                   | 102       | 86      |
| 70/11-1 AlFe | 150                                                                   | 122       | 105     |
| 110/22 AlFe  | 180                                                                   | 152       | 133     |



Obr. 22: Schéma geometrie jednoho rozpětí mezi podpěrnými body:

a – vzdálenost mezi PB (rozpětí pole), f – průhyb vodiče, c – výška vedení nad zemí [11]

Rovinné konzoly VN na betonové sloupy musely optimálně pokrýt široké pásmo uvažovaných vzdáleností, proto vznikly tehdy tři pevnostní typy konzol, které se dále člení podle sloupového provedení na konzolu lehkou, výztužnou a těžkou.



Obr. 23: Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly:  
vlevo – prvotní rovinná konzola, uprostřed - konzola PARÁT-II-JB-N,  
vpravo – nový požadavek uspořádání pro konzolu PARÁT-III-JB-N

Zaměnitelnost konzol je důležitá zpravidla při rekonstrukcích stávajících linek, kde se při výměně PB požaduje zachování stávajícího místa. Jedině tak není nutné projednávat nové umístění stožáru s majiteli pozemků. Zaměnitelnost spočívá v dosažení stejné nebo větší maximální vzdálenosti podpěrných bodů se stejným nebo obdobným vodičem a za předepsaných povětrnostních podmínek. Při návrhu se vychází z předpokladu upevnění obou konců vodičů ve stejné výši. V praxi se rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost nepoužívá, ale nelze vyloučit ojedinělé případy.

Z rozměrového uspořádání vodičů se vypočte maximální dovolený průhyb  $f_{\max}$  pro nejpoužívanější typy vodičů, podle rovnice (3.3). Poté se řeší stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči, při jednotlivých námrazových oblastí.

Stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2 \quad (3.2)$$

kde je:

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| $\sigma_{H1}, \sigma_{H0}$ | vodorovné mechanické napětí ve stavech 1 a 0 [MPa] |
| $E$                        | modul pružnosti vodiče [MPa]                       |
| $\vartheta_1, \vartheta_0$ | teplota okolí ve stavech 1 a 0 [°C]                |
| $\alpha$                   | součinitel tepelné roztažnosti vodiče [°C]         |
| $z_1, z_2$                 | přetížení ve stavech 1 a 0 [ / ]                   |

Do stavové rovnice se dosazují číselné hodnoty vzdálenosti mezi PB a výsledkem je vodorovné napětí ve vodiči  $\sigma_H$ , jehož hodnota nesmí překročit dovolenou mez napětí od výrobce  $\sigma_{dov\ max}$ . Maximální dovolenou vzdálenost mezi PB  $a_{max}$  pro konkrétní lano určí stav, při kterém je dosažena hodnota  $\sigma_{dov\ max}$ .

Získané hodnoty  $a_{max}$  a  $\sigma_{dov\ max}$  se dosadí do rovnice pro výpočet obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly, ve které se provede kontrola, zda nebyla překročena hodnota maximálního dovoleného průhybu od rozměrového uspořádání konzoly  $f_{max}$ . Pokud se hodnota  $f_{max}$  překročila, postupně se snižuje  $a_{max}$ , dokud nebude  $f_{max}$  v rovnováze s hodnotou dle výpočtu rozměrového uspořádání vodičů.

Obecný tvar průhybové křivky jako paraboly je:

$$f_{max} = \frac{a_{max}^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} \quad (3.5)$$

kde je:

$a_{max}$  délka rozpětí (maximální vzdálenost mezi podpěrnými body) [m]

$\gamma$  měrná tíha vodiče [ $N \cdot mm^{-2} \cdot m^{-1}$ ]

$z$  přetížení vodiče námrazou [-]

$\sigma_H$  Vodorovné namáhání ve vodiči [MPa]

Správně navržená geometrie systému konzol bude vykazovat hodnoty maximální vzdálenosti mezi PB, blízké hodnotám v tabulce č. 7.

### 3.2.3.4 Maximální vzdálenost mezi PB s konzolou PAŘÁT-III-JB-N

Na konzoly PAŘÁT-III-JB-N se nejprve musí prověřit, jaký průhyb dovolí mezifázová vzdálenost mezi vodiči na bočních ramenech a mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním. Dovolенý průhyb pak stanoví ta rizikovější mezifázová vzdálenost.

Kvůli velkému rozsahu výpočtu se zde podrobně vyřeší pouze jeden stav pro jeden konkrétní vodič a ostatní stavy se ukáží formou výsledků v souhrnných tabulkách.

Podle tabulky č. 7, musí konzola umožnit svým rozměrovým uspořádáním vzdálenost mezi podpěrnými body  $a_{max}=127$  [m] pro vodič 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti.

Výpočet  $k_{emp}$  a  $f_{max}$  se provede podle vzorců (3.2) a (3.3), pro všechny typy nejpoužívanějších vodičů. V ČR jsou to vodiče 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe a 110/22 AlFe.



Výpočet součinitele  $k_{emp}$ , pro vodič 42/7 AlFe:

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d / g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right]$$

$$= 0,56 + \frac{(1 + 9 / 0,17159)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{61,9}{50} \right) \cos(2 \cdot 61,9) + 0,5 \sin(2 \cdot 61,9) \right]$$

$$= \underline{\underline{0,837}}$$

Výpočet maximálního dovoleného průhybu  $f_{max}$  pro vodič 42/7 AlFe:

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 = \left( \frac{1,7 - (0,6 \cdot 0,26)}{0,837} \right)^2 = \underline{\underline{3,4}} \text{ [m]}$$

Tab. 8 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodiče bočního a horního, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,7 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=61,9^\circ$ |           |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                      | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,837                                                                                          | 3,4       |
| 70/11-1 AlFe | 0,797                                                                                          | 3,75      |
| 110/22 AlFe  | 0,741                                                                                          | 4,34      |

Tab. 9 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodičů bočních, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,6 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=0^\circ$ |           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                   | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,674                                                                                       | 4,59      |
| 70/11-1 AlFe | 0,658                                                                                       | 4,82      |
| 110/22 AlFe  | 0,635                                                                                       | 5,18      |

Z tabulek 8 a 9 je patrné, že mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním, je rizikovější, než vodorovná vzdálenost mezi vodiči bočními. Maximální dovolený průhyb vodiče je stanoven tím přísnějším kritériem dle tabulky č. 8.

Nyní se může přejít k výpočtu maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body přes již zmíněnou stavovou rovnici a rovnici obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly.

Výpočet stavové rovnice (3.4) pro přepočet tahu ve vodiči 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti, při dosazení  $a_{max}=139\text{m}$ :

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2$$

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} \cdot \left( \frac{139 \cdot 1}{38} \right)^2 + 0,000018714 \cdot 80004 \cdot (-5 - (-5)) - 38 \right] = \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} (139 \cdot 4,672)^2$$

Výsledkem je velikost vodorovného napětí ve vodiči  $\sigma_{H1}=114,423$  [MPa]. Výrobce lan uvádí hodnotu  $\sigma_{\text{dov max AlFe42/7}} = 109,164$  [MPa]. Vzhledem k tomu, že tyto výpočty jsou pouze orientační, je výsledek vyhovující. Následuje kontrolní výpočet maximálního dovoleného průhybu z obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly podle rovnice (3.5):

$$f_{\text{max}} = \frac{a^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} = \frac{139^2 \cdot 0,03401 \cdot 4,672}{8 \cdot 114,423} = 3,404 [\text{m}]$$

Tento stav splňuje zadání, konzola umožňuje v lehké námrazové oblasti maximální dovolenou vzdálenost  $a_{\text{max}}=139$  m. To je o 12 m více, než prvotní rovinná konzola. Výsledky pro ostatní vodiče a námrazové oblasti jsou znázorněny v tabulce č. 10

Tab. 10 – Maximální vzdálenosti PB, podle rozměr. uspořádání na konzole PAŘÁT-III-JB-N (v závorkách jsou hodnoty rozdílu oproti původním rovinným konzolám)

| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |          |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká  |
| 42/7 AlFe    | 139 (+12)                                                             | 96 (+6)   | 80 (-6)  |
| 70/11-1 AlFe | 152 (+2)                                                              | 123 (+1)  | 101 (-4) |
| 110/22 AlFe  | 175 (-5)                                                              | 147 (-6)  | 124 (-9) |

Konzola PAŘÁT-III-JB-N těsně nesplňuje požadavek záměnnosti ve všech případech, ale nesmí se zapomenout, že se jedná o nejlehčí konzolu ze systému PAŘÁT-III. Rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost se navíc téměř neprovádí.

V extrémních vzdálenostech se použije konzola PAŘÁT-III-DB-R, popřípadě konzoly jiného systému s většími mezifázovými vzdálenostmi a mnohem vyšší pevností.

### 3.2.3.5 Místa pro montáž izolátorů

Podle účelu podpěrného bodu musí konzola umožnit montáž příslušných typů izolátorů, které jsou uvedeny v kapitole 3.1.4. Na nosné konzoly se montují podpěrné izolátory typu VPA/VPAv, pomocí šroubu se závitem M20 viz obrázek 8.

Jelikož spojovací materiál a izolátory nejsou součástí dodávky výrobců konzol, výrobce musí respektovat zavedené délky šroubů dle standardů energetik a přizpůsobit tomu tvar konstrukce. Podle zkušeností je optimální zvolit profil o velikosti 50, 80, 90 nebo 100 mm, skrz který prochází šroub M20 délky 80, 100, 110 nebo 120 mm. Otvory pro šrouby se volí vždy o 2 mm větší než je jmenovitý průměr závitu, kvůli povlaku technologií žárového zinkování.

Konzoly rohové a kotevní jsou konstruovány tak, aby umožnily montáž kotevních izolátorů. Konstrukce musí obsahovat navařené kotevní desky (příložky), do kterých se montují kotevní klouby různých velikostí se zapřaženými kotevními izolátory. Velikosti kloubů, zavedené ve standardech energetik, jsou na obrázku č. 10. Skrz otvory v kotevních deskách o průměru 22 mm a kotevní kloub se provléká šroub se závitem M20x130, který je axiálně jištěný maticí, nebo závlačkou. Otvory na kotevních deskách musí být vzdálené od konstrukce minimálně 30 mm.

### **3.2.3.6 Technologické úpravy konzol pro zinkování**

Konzoly musí být navrženy s ohledem na korozi – s uplatněním vhodné povrchové ochrany dle EN ISO 12944 [2].

Kvůli technologii žárového zinkování konzoly nesmí obsahovat žádné uzavřené dutiny v profilech. Ani kapsy, které by mohly bránit samovolnému stékání roztaveného zinku při vynoření konzoly z vany. Pokud se naskytnou takovéto dutiny u konstrukce, musí se v daných místech provést tzv. technologickými prostřihy. Technologické prostřihy se zakreslují do výrobní dokumentace jednotlivých dílů a počítá se s nimi již od samého počátku navrhování, protože mohou zeslabit průřez základního materiálu, či průřez svarového spoje.

### **3.2.4 Technologie výroby**

Výroba konzoly se skládá z pěti výrobních fází. (výroba jednotlivých dílů, svařování technologií MAG, externí žárové zinkování, kompletace a balení). Výroba dílů sestavy spočívá v řezání polotovarů na pásových pilách. Následuje stříhání otvorů na hydraulických lisech.

Díly se mohou v lisech také ve speciálních přípravcích ohýbat. Hotové díly se shromažďují na svářečském pracovišti a naskládají se podle výrobního výkresu do přípravku, upnutém na pracovním stole. Přesně usazené dílce se k sobě nejdříve nabodují a poté se na požadovaných místech provedou svarové spoje. Svařené sestavy se přepravují do zinkovny, kde se provádí ochranný povlak technologií žárového zinkování.

Zinkované výrobky se vrací zpět do společnosti ES na pracoviště kompletace, kde se konzola opatří spojovacím materiálem. Následně se provádí balení konzol na palety a přemístění do výdejních prostorů.

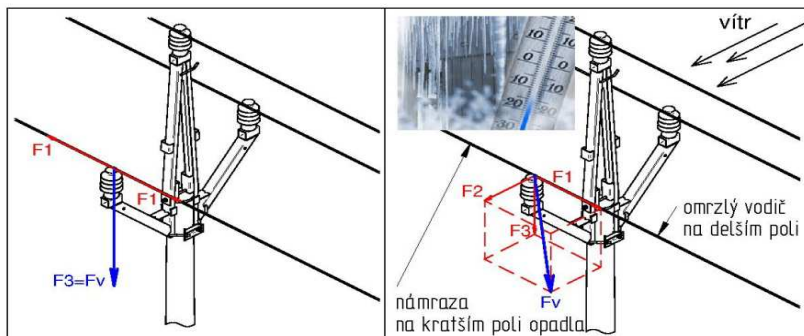
### 3.3 Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N způsobují vodiče připevněné v izolátorech. Zatížení lze zatřídit do dvou kategorií, stálé a nahodilé. Za stálé zatížení se považuje tíha vodičů z přilehlých rozpětí, tah z předpětí kotevního lana trvale kotveného podpěrného bodu při referenční teplotě a účinek tahu vodiče při referenční teplotě. Tíha samotné konzoly a izolátorů je zanedbatelná. Nahodilá zatížení způsobuje výrazná změna teploty, vítr a námraza.

Pro potřebu správného dimenzování konzoly vůči maximální provozní zatížení (nejnepříznivější kombinací všech stálých i nahodilých jevů) musí být známi následující parametry.

- Parametry nejtěžšího vodiče
- Maximální vzdálenost mezi podpěrnými body
- Nejnepříznivější uvažovaná nahodilá zatížení vodičů v podobě větru a námrazy

Provozní zatížení je způsobeno třemi složkami  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$ , viz obrázek č. 24. Síla  $F_1$  působí ve směru vedení a je způsobena stálou tahovou silou vodičů způsobenou rozdílnými délkami sousedních polí, popřípadě nahodilým zatížením v podobě nerovnoměrné námrazy na sousedních polích. Síla  $F_2$  působí kolmo na směr vedení a je způsobena větrem v témže směru. Pokud je PB v lomu trasy, přidává se ještě výslednice tahových sil. Síla  $F_3$  plyne z tíhy vodičů, jako součet polovin sousedních polí.



Obr. 24: Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-II-JB-N:  
vlevo - při rovnováze tahových sil, bez větru a námrazy, vpravo – maximální zatížení

Pro účely dimenzování konzoly se zavádí určitá zjednodušení ve výpočtech, proto se obvykle konzoly dimenzují na únosnost provozního zatížení, jehož maximum se ještě násobí koeficientem spolehlivosti. Snahou výrobce je dimenzovat konzoly tak, aby jejich pevnost nebyla nejslabším článkem podpěrného bodu. Při překročení maximálního provozního zatížení dojde s největší pravděpodobností dříve k porušení izolátorů, nebo dokonce samotných stožárů.

Společnost ES si nechalo provozní zatížení posoudit od autorizovaných projektantů a odborných zaměstnanců energetik. Vzhledem k velkému rozsahu této problematiky, se zde uvedou pouze finální vztahy s číselným dosazením. Za správnost výsledků odpovídá společnost E. ON ČR s.r.o.

Síla F3, vztažená k jednomu vodiči, se vypočte ze vztahu (3.6), pro námrazovou oblast N3.

$$F3 = a_{max} \cdot (g_c \cdot I_R) \quad (3.6)$$

kde je:

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$g_c$  tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$I_R$  referenční zatížení námrazou na jednotku délky [N/m]

Síla F2, vztažená k jednomu vodiči, se řeší vztahem (3.7), pro kategorii terénu II. a větru o síle stupně III.

$$F2 = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot a_{max} \cdot \sin^2 \beta \quad (3.7)$$

kde je:

$q_h$  dynamický tlak větru ve výšce h nad zemí [Pa]

$G_q$  poryvový součinitel [-]

$G_c$  součinitel rozpětí [-]

$d$  průměr holého, izolovaného vodiče, nebo kabelového systému [m]

$C_c$  součinitel aerodynamického odporu vodiče [-]

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$\beta$  úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče [°]

Dosazením číselných hodnot do rovnic (3.6 a 3.7) vzejdou zbývající síly F3 a F2.

$$F3 = 124 \cdot (4,8490 + 27,081) = 3,959 \text{ kN}$$

$$F2 = 563 \cdot 2,05 \cdot 0,95 \cdot 0,01496 \cdot 1,0 \cdot 175 \cdot 1,0 = 2,870 \text{ kN}$$

Síla  $F_1$ , vztažená k jednomu vodiči, byla po dohodě s uživateli stanovena na hodnotu 3 kN. V praxi se zjistilo, že při opadnutí námrazy na jednom nejdelším možném poli v námrazové oblasti N3, vznikne nahodilá síla  $F_1=2,641$  kN.

### **3.4 Výpočet pevnosti konzoly VN**

#### **3.4.1 Normy a předpisy pro výpočet pevnosti**

V současné době pro výpočet pevnosti stavebních konstrukcí platí tzv. Eurokódy, které jsou začleněné do systému ČSN [3]. Únosnost staticky zatížených svařovaných ocelových konstrukcí se nachází v následujících normách:

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1993 (Eurokód 3) Navrhování ocelových konstrukcí
  - ČSN EN 1993-1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
  - ČSN EN 1993-1-8 Navrhování styčníků

#### **3.4.2 Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce**

Pro ocelové konstrukce se použije rovnice (3.8) z EN 1990, z které se stanoví návrhová únosnost základního materiálu svařované ocelové konstrukce [4]:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (3.8)$$

kde je:

$R_d$       Návrhová únosnost základního materiálu [MPa]  
 $R_k$       Dolní mez kluzu základního materiálu [MPa]  
 $\gamma_M$       dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]

Hodnota návrhové únosnosti zvoleného materiálu, nesmí být v žádném místě při působení maximálního provozního zatížení překročena, pak platí vztah (3.9).

$$\sigma_{max} \leq R_d \quad (3.9)$$

kde je:

$\sigma_{max}$       maximální naměřené napětí [MPa]

### 3.4.3 Návrhová únosnost svarových spojů

Ustanovení této kapitoly se vztahují na svařitelné konstrukční oceli s tloušťkou materiálu 4mm a více, které odpovídají EN 1993-1-1. Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou obdobné vlastnostem základního materiálu. Svary v tenčích materiálech mají splňovat EN 1993-1-3 a svary konstrukčních dutých průřezů s tloušťkou materiálu 2,5mm a více se řídí kapitolou 7 této normy. Obvykle se požaduje kvalita svaru C podle EN ISO 25817, není-li uvedeno jinak [4].

#### 3.4.3.1 Návrhová únosnost koutových svarových spojů

Návrhová únosnost koutového svaru se má určit buď metodou uvažující směr namáhání, která je uvedena, nebo zjednodušenou metodou. V této práci bude aplikována zjednodušená metoda, ve které se stanoví návrhová pevnost svaru ve smyku  $f_{vw,d}$  ze vztahu (3.10) [5]:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (3.10)$$

kde je:

$f_u$  Jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu [MPa]

$\beta_w$  Korelační součinitel podle tabulky [-]

$\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti svaru [-]

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech pevnostní podmínka (3.11):

$$\sigma_{max} \leq f_{vw,d} \quad (3.11)$$

kde je:

$\sigma_{max}$  maximální naměřené napětí [MPa]

#### 3.4.3.2 Návrhová únosnost tupých svarových spojů

Návrhová únosnost s plným provařením se má uvažovat stejná jako návrhová únosnost slabší ze spojovaných částí za předpokladu, že je svar proveden vhodným přídatným materiálem, který zajistí v celé oblasti svaru mez kluzu a pevnost ne menší, než jaká je požadovaná pro základní materiál [5].

### **3.4.4 Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation**

Solid Edge Simulation je nadstavbový modul CAD Solid Edge, jako funkce pro analýzu metodou konečných prvků na bázi řešiče NX Nastran (používá jej ve svém vývoji například NASA). Modul Simulation byl navržen specificky pro inženýry a vývojáře/analytiku, kteří používají Solid Edge pro tvorbu modelů a technické dokumentace. V režimu Simulation se pomocí analýzy MKP vizualizuje přetvoření zatížené konstrukce, nebo hodnoty napětí a jiných zkoumaných veličin. Výsledky simulace omezují nutnost použití reálných prototyp, pomáhají snižovat hmotnost, množství potřebných materiálů a tím i cenu konstrukce [8].

Analýza MKP umožňuje konstrukci, vylepšení a optimalizaci celých návrhů ještě před jejich uvedením do výroby. Tím se zkracuje doba nutná k uvedení produktu na trh a snižují se náklady na přepracování [9].

Modul Simulation poskytuje pevnostní analýzu svařované ocelové konstrukce, vytvořené v prostředí sestavy modeláře Solid Edge. Sestava je řešena jako jedna geometrie, složená z objemových regionů jednotlivých dílců, jejichž objemy jsou vzájemně pevně spojeny. Alternativní řešení je vytvořit ocelovou konstrukci, jako jeden dílec.

Cílem pevnostní analýzy svařovaných ocelových konstrukcí je stanovení dovoleného napětí pro použitý materiál. Přitom se nesmí opomenout tepelné ovlivnění základního materiálu konstrukce, během procesu svařování.

#### **3.4.4.1 Tvorba modelu sestavy v Solid Edge**

Před tvorbou sestavy, která bude podrobena pevnostní analýzou, se vytvoří všechny samostatné díly sestavy. Díly mohou být typu objemové součásti, nebo plechového dílu. K jednotlivým dílům se přiřadí jejich materiálové vlastnosti a uloží se jako samostatné soubory. V režimu sestavy se vymodelované díly načtou a patřičnými vazbami spojí do jednoho celku. Výsledná geometrie sestavy by měla odpovídat co nejbližší reálné konstrukci.

Pro objektivní a rychlé provedení analýzy se provádí některá zjednodušení. Čím více bude geometrie modelu tvarově složitější, tím snáze mohou nastat problémy s vyhodnocením analýzy. Z modelu by se proto měly vyřadit prvky, které nemají zásadní vliv na posuzování pevnosti konstrukce, jako např. některé díry, zaoblení hran, doplňující prvky které nepřenáší napětí apod.

U modelu svařované ocelové konstrukce jsou častými jevy ostré přechody mezi jednotlivými díly sestavy. Ostré přechody vznikají i mezi díly a svarovým kovem a jsou koncentrátoři napětí.



### 3.4.4.2 Postup tvorby analýzy v Solid Edge Simulation

Pokud je připravený model sestavy, přejde se v Solid Edge do režimu Simulation, kde se zvolí potřebné parametry studie. Na výběr jsou tři hlavní typy studií:

- Lineární statika
- Modální analýza
- Vzpěrná analýza

Pro statickou analýzu pevnosti se použije lineární statika. Objem modelu se nahradí příslušným typem sítě:

- Čtyřstěnná
- Plošná
- Kombinovaná

Typ a jemnost sítě se volí podle charakteru konstrukce. Pro analýzu modelu konzoly se zvolí lineární statika a čtyřstěnná síť. Dále se definuje geometrie, zatížení, omezení, síť a spoje, dle nabídek.

Čím jemnější bude struktura sítě, tím přesnější bude výsledek napjatosti, ovšem pro rozměrově velké konstrukce to může znamenat časovou náročnost výpočtu. Optimální síť dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel.

Dále se definuje zatížení reprezentované silou, např. o velikosti 1kN, která bude působit na konci nosníku z horního otvoru vertikálně dolů. Ve finále se nastaví síť modelu, jejíž struktura se volí podle charakteru modelu. Čím jemnější síť nastavíme, tím přesnější můžeme očekávat výsledek analýzy. Zbytečně jemná síť pro velké prvky, zase zbytečně prodlužuje výpočet.

Optimální parametry sítě dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel. Po nastavení sítě se musí vazby mezi jednotlivými dílci nahradit virtuálními spoji, které budou v analýze reprezentovat svarové spoje. Jelikož materiál svarového kovu má větší mez kluzu než materiál konstrukce, tuhost spojů modelu se bude uvažovat jako dokonale tuhá.

Nakonec se odeberou modelu všechny stupně volnosti a nastaví se provozní zatížení. Pokud hraje velkou roli i vlastní tíha konstrukce, nastaví se velikost a směr gravitační síly. U konstrukcí může hrát velkou roli i změna teploty okolního prostředí, Simulation nastavení teploty prostředí v analýze umožňuje.

### **3.4.4.3 Výsledky analýzy**

Analýza umožňuje vypracovat následující výsledky:

- Výsledky posunutí (přetvoření)
- Výsledky napětí (normálové, smykové, von Mises apod.)
- Koeficient bezpečnosti modelu

## **3.5 Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES**

Ve společnosti ES se funkčnost a pevnost konzol ověřuje zatěžovací zkouškou únosnosti, která se řídí normou ČSN 73 2030 [6]. Zkouška probíhá na reálně zhotoveném prototypu, který se upne na zkušební zkrácený betonový sloup. Na příslušná místa konzoly se připevní lano, jehož druhý konec se připojí do dynamometru. Dynamometr je zapřažen za hák jeřábu, který konstrukci postupně zatěžuje podle zatěžovacího diagramu. Výsledkem zkoušky je hodnota zatížení v požadovaném směru, při které dojde k překročení meze únosnosti konstrukce (výskyt trvalých plastických deformací, ztráta stability apod.).

### **3.5.1 Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030**

#### **3.5.1.1 Účel zatěžovacích zkoušek**

Účelem zatěžovací zkoušky je [6]:

- posoudit spolehlivost konstrukce, pokud toto posouzení je předepsáno v systému, kterým se zajišťuje spolehlivost konstrukcí,
- ověřit výpočtové modely, pokud je pochybnost, že použité výpočtové modely nejsou dostatečně výstižné

#### **3.5.1.2 Druhy zatěžovacích zkoušek**

Z hlediska způsobu vyhodnocení se zatěžovací zkoušky dělí na [6]:

- Zatěžovací zkoušky prováděné do dosažení únosnosti konstrukce
- Zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti konstrukce

Z hlediska účelu se zatěžovací zkoušky dělí [6]:

- Průkazní, popř. prototypové zkoušky, sloužící k ověření spolehlivosti před zahájením výroby konstrukcí
- Kontrolní výrobní zkoušky, sloužící k prověření spolehlivosti v průběhu, nebo po dokončení výroby konstrukcí

### 3.5.1.3 Provádění zatěžovacích zkoušek

Zkoušky se provádí v takových podmínkách, které se co nejvíce přibližují podmínkám působícím v provozu. Při zatěžovací zkoušce se postupně zvyšuje zatížení na konstrukci a měří se odezva konstrukce. Konstrukce se zatěžuje podle předem stanoveného zatěžovacího postupu [6].

### 3.5.1.4 Základní zatěžovací postup

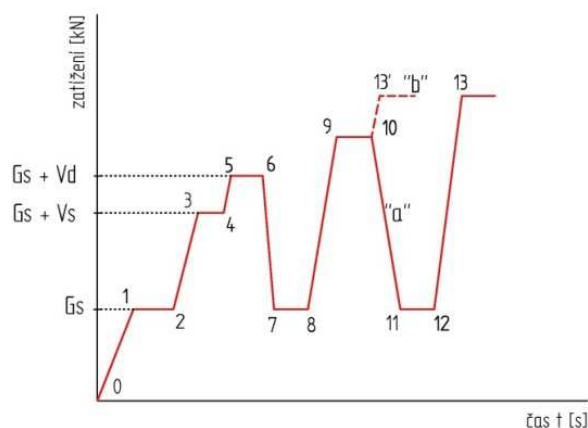
Níže popsáný zatěžovací postup je znázorněn na obrázku č. 25 [6].

- a) Konstrukce, která je při začátku zkoušky zatížena vlastní tíhou, popřípadě tíhou zkušebního zařízení se zatíží na hodnotu  $G_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého zatížení (bod 1).
- b) Po ustálení přetvoření (bod 2) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého a nahodilého zatížení (bod 3).
- c) Po ustálení přetvoření (bod 4) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_d$ , která odpovídá součtu provozní hodnoty stálého zatížení a extrémní hodnoty nahodilého zatížení (bod 5).
- d) Po ustálení přetvoření (bod 6) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 7).
- e) Po ustálení přetvoření (bod 8) se zatížení zvýší na hodnotu, která je podle povahy případu o 10 až 20 % vyšší než hodnota  $G_S + V_d$  (bod 9).
- f) Po ustálení přetvoření (bod 10) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 11) a opět se zjistí velikost přetvoření (bod 12 - větev „a“)
- g) Při dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 až 12 s tím, že při každém zatěžovacím cyklu se zatížení zvýší o dalších 10 až 20 % z hodnoty  $G_S + V_d$ .

V odůvodněných případech je možno zkoušku provést tak, že v bodě 10 se konstrukce neodlehčuje a zatížení se postupně při každém zatěžovacím stupni zvýší o 10 až 20% z hodnoty  $G_S + V_d$  (větev „b“) [6].

Zatěžovací postup při zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce se provádí podle základního zatěžovacího postupu. Dosažením únosnosti konstrukce je zkouška ukončena [6].

Zatěžovací postup při zkoušce bez dosažení únosnosti konstrukce se postupuje jen do bodu 8 dle základního zatěžovacího postupu, kdy je zkouška ukončena, nebo se opakuje se zpřísněnými kritérii [6].



Obr. 25: Základní zatěžovací postup

### 3.5.1.5 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Při vyhodnocení se zatěžovací zkoušky se zkoušená konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti. Při zatěžovací zkoušce, je zkoušená konstrukce spolehlivá z hlediska mezního stavu únosnosti splňuje-li zároveň tato kritéria [6]:

- Experimentální hodnota únosnosti je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$
- Při zatížení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S + V_d$  a následném odlehčení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S$  (body 6 a 8 základního zatěžovacího postupu), je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením menší než  $\lambda_I$ .

Za dosažení únosnosti ocelové konstrukce při zatěžovací zkoušce se považuje [6]:

- Ztráta stability
- Neustálé přetváření konstrukce při konstantním zatížení
- Trhliny ve stycích a ostatních prvcích
- Prokluz třecích spojů
- U ohýbaných prvků průhyb větší než 1/50 rozpětí
- Jiná porušení konstrukce

Součinitel spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro prvky porušené ohybem:  $\gamma_{exp}=1,3$
- Pro prvky porušené tlakem popř. jinak:  $\gamma_{exp}=1,5$

Součinitel přetvoření  $\lambda_I$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro svařované konstrukce  $\lambda_I=0,10$
- Pro nýtované konstrukce  $\lambda_I=0,12$
- Pro šroubované konstrukce  $\lambda_I=0,10$

Mez únosnosti konzoly musí nastat při zatížení větším nebo rovno, výslednému maximálního provozního zatížení násobeného součinitelem spolehlivosti zkoušení  $Y_{exp}$ .

Při zatěžovací zkoušce vrcholové konzoly se dále vizuálně kontroluje usmýknutí konzoly na betonovém sloupu, celková deformace konzoly, olupování vrstvy zinku následkem deformací a praskliny ve svarových spojích.

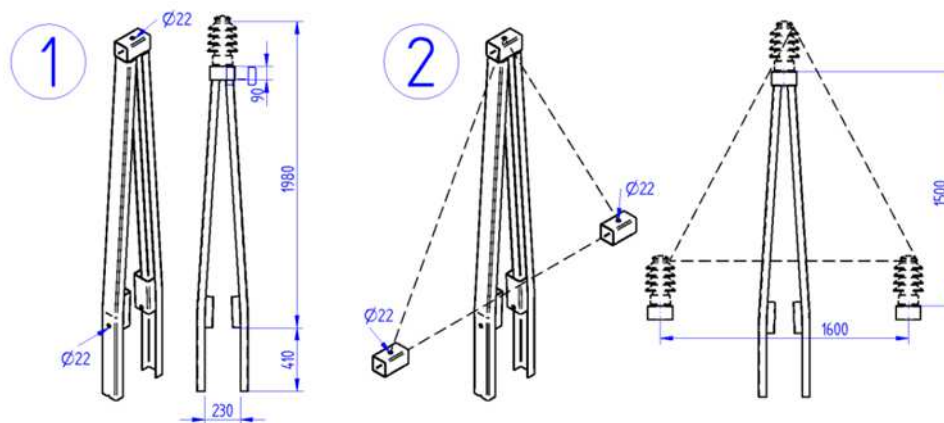
Výstupním dokumentem zatěžovací zkoušky je protokol o zkoušce únosnosti, který obsahuje veškerá naměřená data a vyhodnocení zkoušky.

Měřícím zařízením zatěžovací zkoušky je jeřábová váha typu OCS-A s výrobním číslem 1105-A3t-01, jejíž poslední kalibrace se provedla 8. 9. 2011 autorizovanou společností Lesák-Zeman.

## 4 Experimentální část

### 4.1 Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Konzola musí splnit veškeré požadavky, které jsou uvedené v kapitole 3.2. Geometrie konzoly vychází z požadovaného rozměrového uspořádání vodičů na konzole.



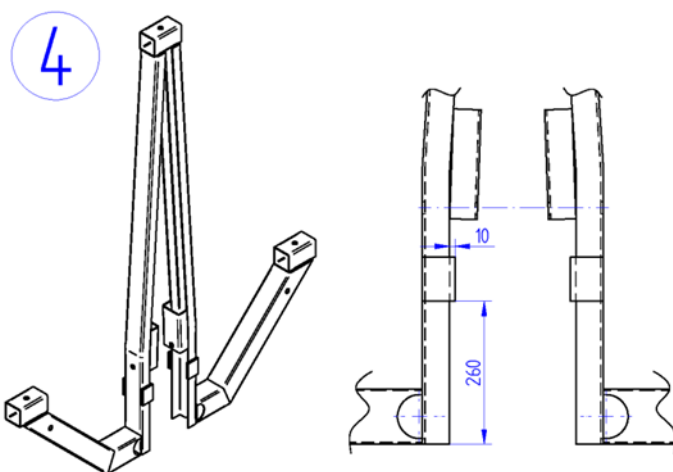
Obr. 26: Návrh středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Střední rameno je konstruováno tak, aby drželo horní fázi linky VN ve výšce 1980 mm nad hlavou betonového sloupu. Středové rameno se skládá ze dvou jeklů tvaru U100x50x5, které jsou v horním konci přivařené k uzavřenému čtvercovému jecku 90x90x5, nazývanému hlavou. Hlava obsahuje průchozí otvor o průměru 22 mm, pro montáž nosného izolátoru šroubem M20. Dolní konce mezi sebou tvoří mezeru o velikosti 230 mm.

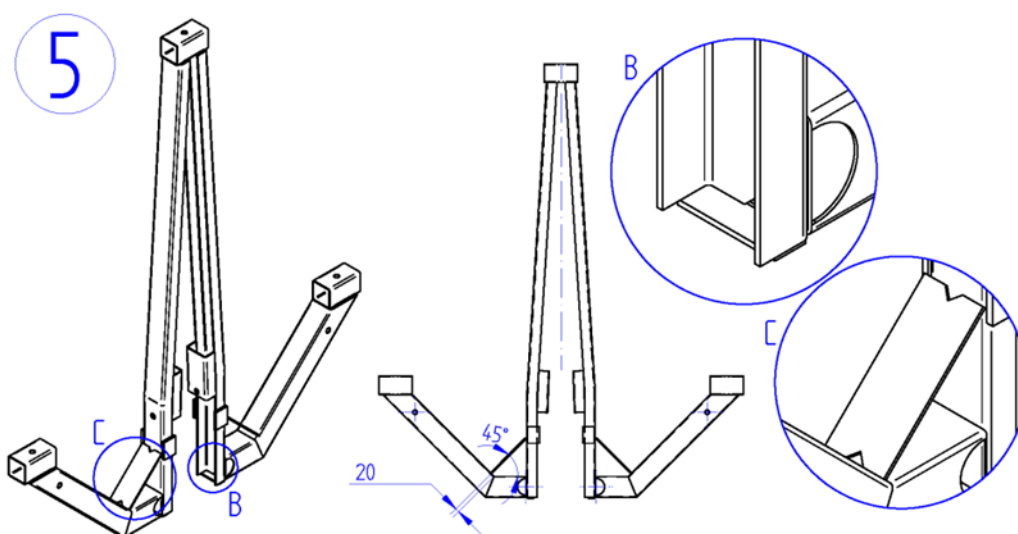
Střední rameno se může mírně roztahovat a stahovat na průměr hlavy betonového sloupu od 180 do 250 mm, aniž by docházelo k popraskání svarových spojů. Z vnitřní strany středového ramena jsou navařené podpěry, které se budou shora opírat o hlavu sloupu, zároveň budou sloužit jako držáky plastové čepice, zabraňující zatékání do vnitřní dutiny sloupu. Skrze podpěry a středové rameno bude procházet průchozí otvor o průměru 22 mm, pro svorník M20.

Konstrukce bočních ramen musí splnit požadovanou vertikální i horizontální mezifázovou vzdálenost mezi vodiči, viz obrázek č. 23 v kapitole 3.2.3.3. Tvarově výhodné je použít v místě upnutí bočních nosných izolátorů stejný prvek jako na horním konci středního ramena. Boční rameno je složeno ze třech dílů. Aby byla co nejlehčí a jejich výroba co nejjednodušší, použijí se uzavřené čtvercové ječky 100x100x3, které se řezou pod úhlem 45°.

Na středové rameno jsou navařené čtyři opěrné desky, které plní funkci zařezávání do betonového sloupu. Desky vystupují 10 mm od středového ramena a jsou vzdálené od spodní části konzoly 260 mm, aby se konzola ve spodní části dotýkala konického sloupu.



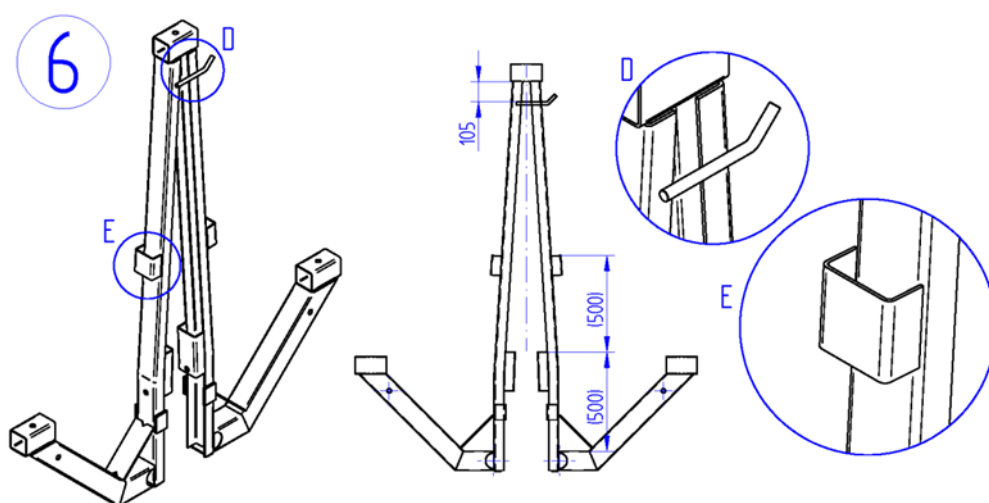
Strana 51



Obr. 29: Návrh výztuhy bočních ramen PARÁT-III-JB-N

Na vnější strany středového ramena jsou navařeny držáky stupaček, do nichž se zasunují montážní stupačky přizpůsobeného tvaru, viz detail E na obrázku č. 32. Koncepte výstupu na konzoly je tvořena systematicky tak, aby každá další nášlapná plocha tvořila krok maximálně po 500 mm. Montér, který se postaví na montážní stupačku, zasunutou v držáku stupačky, má izolátory v úrovni ramen.

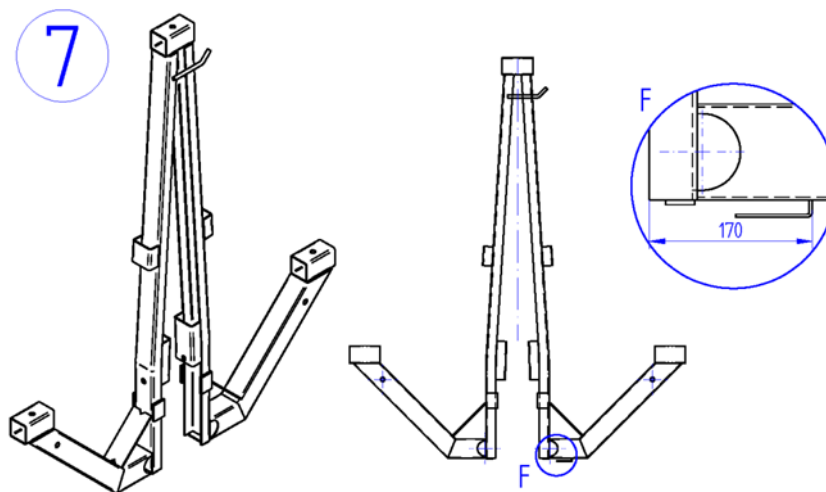
Konzola musí splnit bezpečnost práce ve výšce. Podle ustanovení §50, vyhlášky č. 324/90 Sb., musí být pracovník zajištěn proti pádu osobním zajištěním (bezpečnostním postrojem). K tomu slouží kotevní úchyt, za který lze zakotvit karabinu. Volný konec kotevního úchytu je navíc ohnutý směrem nahoru a tvoří žlábek, do kterého lze dočasně položit vodič z horní fáze při výměně izolátoru viz detail D na obrázku č. 30.



Obr. 30: Návrh držáku stupačky a kotevního úchytu PARÁT-III-JB-N



Každá konzola vysokého napětí musí obsahovat přípojný místo pro uzemnění. Společnost ES řeší přípojný místo navařeným tvarovaným zemnicím páskem o velikosti profilu 30x3 viz obrázek č. 31. Uzemnění se provede přivedením hlavního ochranného vodiče (FeZn 30/4) na zemnicí pásek a sevření křížovou svorkou.



Obr. 31: Návrh přípojného místa pro uzemnění PARÁT-III-JB-N

Konzola PARÁT-III-JB-N v této fázi splňuje všechny konstrukční požadavky a je zapotřebí ověřit její pevnost a funkčnost.

## 4.2 Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation

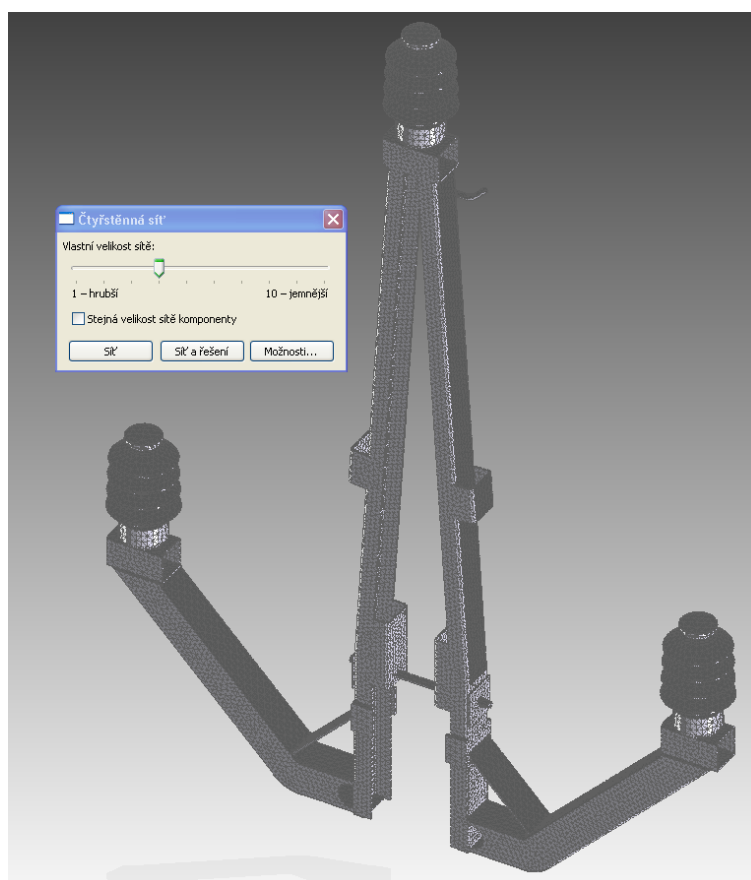
V režimu sestavy (assembly) základního modeláře Solid Edge ST4 je vytvořena konzola PARÁT-III-JB-N. Konzola v režimu sestavy obsahuje velké množství nevyhnutelných ostrých přechodů mezi jednotlivými tvary dílců, ve kterých se koncentruje napětí. V režimu sestavy je navíc velice obtížné modelovat objemy svarů, které tyto ostré přechody zmírní. Pevnostní analýza neumí řešit usmýknutí konzoly na konickém betonovém sloupu, bude proto použita pouze jako nástroj pro zjištění napětí a deformace v konzole.

Pro získání přesnějších výsledků je vytvořen náhradní jednodílný model konzoly v režimu „part“, ve kterém se zaoblí přechody mezi díly. Zaoblení bude zároveň představovat v některých místech i koutové svary. Za účelem zrychlení výpočtu se v analýze nezohlední stavitelná třmenová objímka. Konzole jsou odebrány všechny stupně volnosti na plochách opěrných destiček, kde jsou ve skutečnosti zařízle do betonového sloupu. Druhé omezení je provedeno na spodních plochách profilů, které se ve skutečnosti opírají o betonový sloup. Svorník, který svírá nad hlavou sloupu středové rameno, je pro zjednodušení výpočtu nahrazen navařenou tyčí stejného průměru. Pevnostní analýzy se provedly v krocích podle tabulky č. 11.

Ve všech analýzách je zohledněno působení gravitační síly  $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a teplota okolí  $T=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 11 – Program pevnostních analýz konzoly PAŘÁT-III-JB-N

| Číslo analýzy | Popis zkoušky                                                                    | Velikost a směr provozní zatížení   |                                                                  |                                                                        |                                                                 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|               |                                                                                  | Zatížení vodičem<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(odloženým vodičem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>Držáku stupáčky<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] |
| A-01          | zatížení bočního ramena vodičem                                                  | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-02          | zatížení středního ramena vodičem                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-03          | zatížení všech třech ramen vodiči                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-04          | zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem                                  | 0                                   | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-05          | zatížení kotevního úchytu odloženým vodičem                                      | 0                                   | 0                                                                | 0, 0, 7                                                                | 0                                                               |
| A-06          | zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka                                        | 0                                   | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |
| A-07          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem | 3, 3, 7                             | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-08          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka       | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |



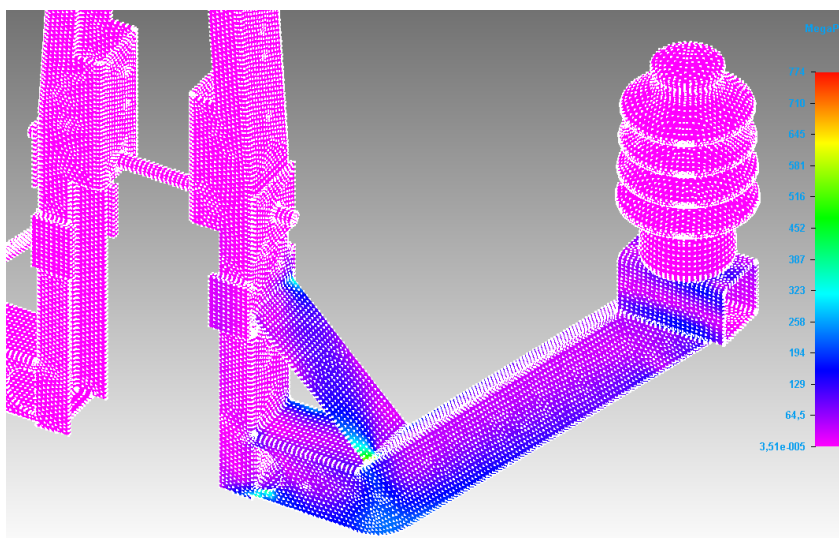
Obr. 32: Výpočtový model konzoly PAŘÁT-III-JB-N

U všech analýz se nastavil typ studie na lineární statiku. Výpočtový model je složen z čtyřstěnného typu sítě viz obr. 32. Síť modelu obsahuje 118 186 elementů a 220 845 uzlů. Subjektivní velikost sítě byla stanovena na velikost 4 (stupnice 1-10, 10 - nejjemnější). Modelu byl přiřazen materiál S235JR se stanovenou minimální mezí kluzu  $R_e=235$  MPa a mezí pevnosti  $R_m=360$  MPa. Model obsahuje podpěrné izolátory typu VPA, v jejichž krčkách jsou připevněné vodiče. Z těchto krčků budou působit jednotlivé síly provozního zatížení do příslušných směrů. Z praxe je zjištěno, že síla F2 je rizikovější při působení směrem od osy sloupu ven. V analýze A-01 se proto směr této síly respektuje, kdežto v analýze A-03, A-07 a A-08 bude na jednom bočním ramenu působit síla F2 od sloupu a na druhém bočním ramenu k ose sloupu. Keramické izolátory VPA figurují v analýze jako dokonale tuhé prvky.

Analýza A-01 samostatně zatíženého bočního ramena maximálním provozním zatížením vykazovala i přes veškerou snahu vymodelovat co nejhladší přechody mezi jednotlivými díly sestavy mnoho míst s výskytem zvýšené koncentrace napětí (vruby). V těchto místech je výrazně překročena mez kluzu. Při porovnání nejvyšší naměřené hodnoty napětí s vypočtenou návrhovou únosností základního materiálu (nebo návrhovou únosností koutového svarového spoje), se tyto špičky napětí v centrech výskytů vrubů pominou. Nejvíce namáhanými místy bočního ramena je spoj mezi výztuhou a šikmým ramenem, a také spoj mezi profilem středního ramena a výztuhou. Vysoká koncentrace napětí je i ve spodní části prostřihu bočního ramena.

Výsledky pevnostní analýzy A-01:

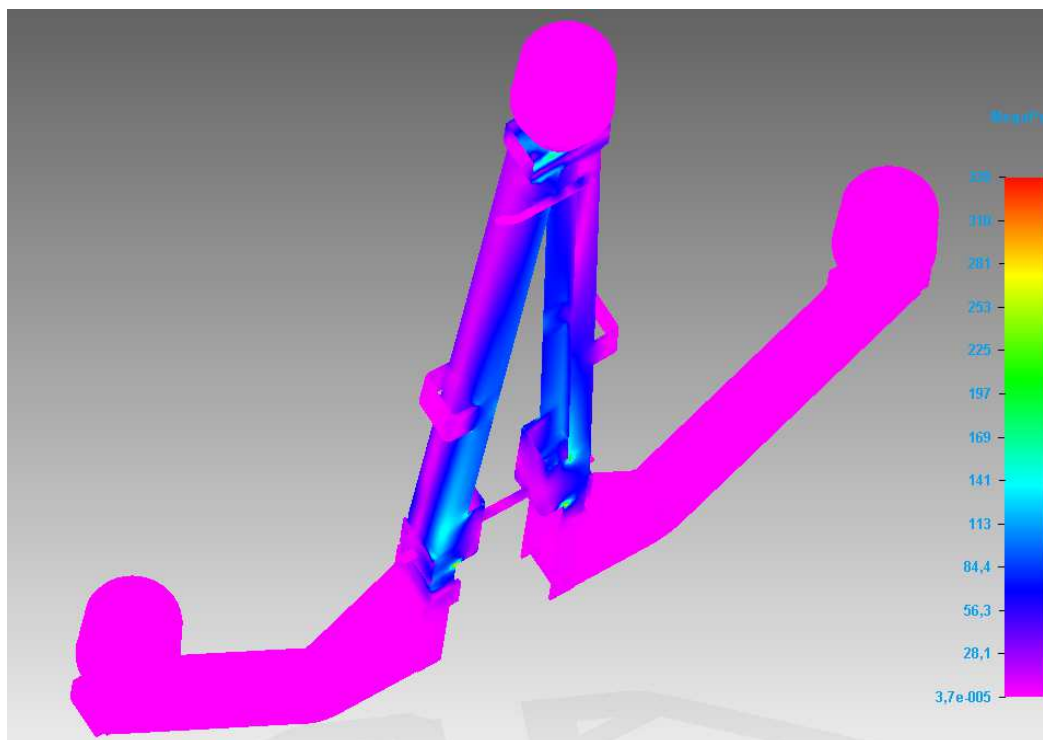
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 774 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku izolátoru: 12,7 mm



Obr. 33: Analýza napětí A-01

Výsledky pevnostní analýzy A-02:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 338 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 145 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm

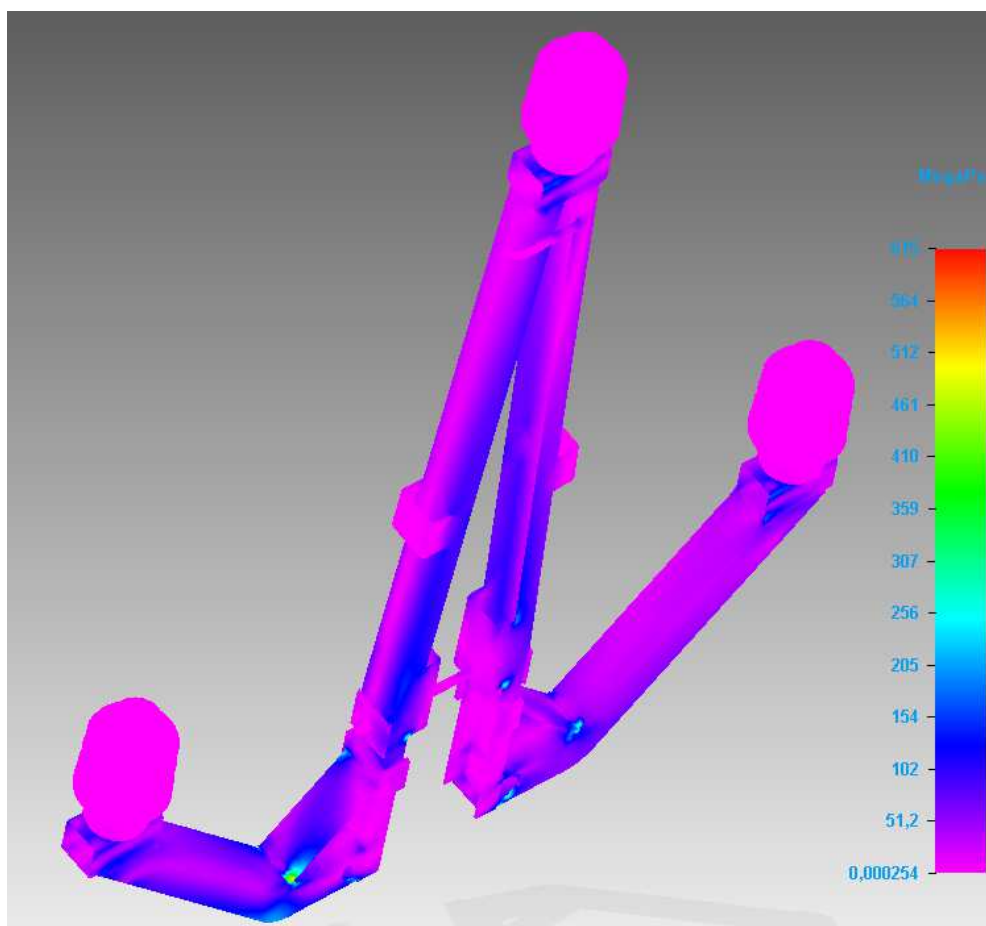


Obr. 34: Analýza napětí A-02

Z výsledků analýzy A-02 (obrázek č. 34) je patrné, že střední rameno není zdaleka tak namáhané jako rameno boční, vyplývá to z použitých silnějších profilů. Střední rameno je složeno ze dvou otevřených jeklů U100x50x5, kdežto boční rameno je pouze z jednoho čtvercového uzavřeného jeklu 100x100x3. Velký význam má i síla ve směru F3, která ve středovém rameni působí do osy sloupu a namáhá rameno pouze na tzv. vzpěr, kdežto u bočního ramena tato síla tvoří velký ohybový moment. Středové rameno je delší než boční a proto dovoluje i větší průhyb, aniž by se překročila mez kluzu materiálu. Z výsledků A-01 a A-02 je dále zajímavé, že napjatost zatíženého bočního ramena téměř nezasahuje do středového ramena a naopak. Z toho plyne, že boční a střední rameno tvoří dva nezávislé okruhy, které se mohou řešit téměř individuálně.

Výsledky pevnostní analýzy A-03:

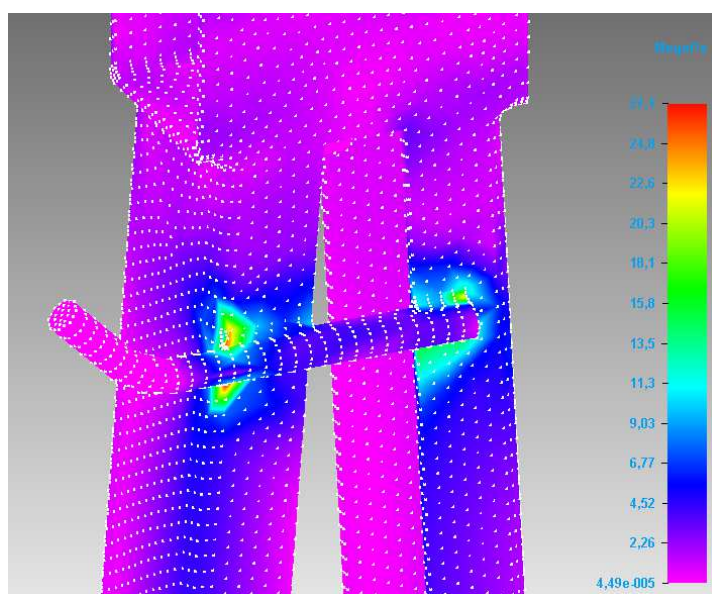
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm



Obr. 35: Analýza napětí A-03

Výsledky pevnostní analýzy A-04:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 27,1 MPa
- Maximální posunutí kotevního úchytu: 0,331 mm

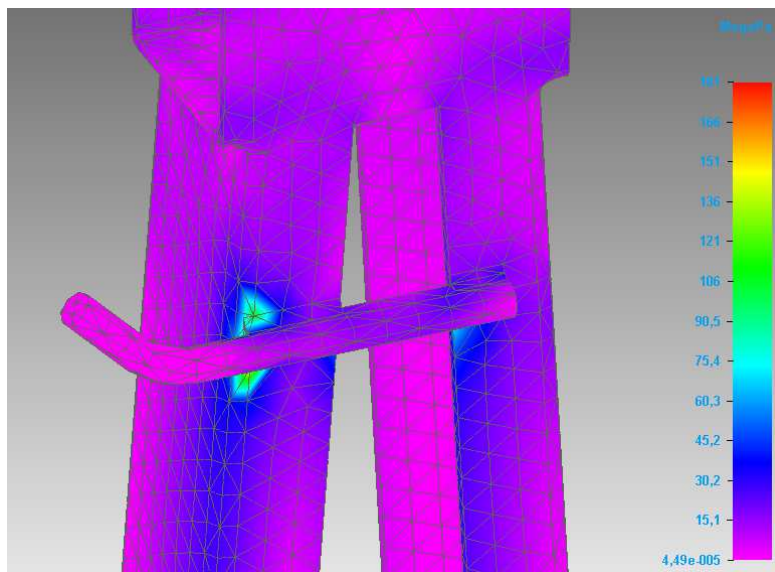


Obr. 36: Analýza napětí A-04

Při osobním zajištění pracovníka o maximální hmotnosti 150 Kg, je vyvinuta na kotevní úchyt síla o velikosti 1,5kN, působící vertikálně ve směru gravitační síly. Z výsledků analýzy A-04 na obrázku č. 36 je patrné, že kotevní úchyt z tvarované tyče o průměru 16mm je dimenzován pro tento účel dostatečně.

Výsledky pevnostní analýzy A-05:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 181 MPa
- Maximální posunutí volného konce kotevního úchytu: 1,12 mm



Obr. 37: Analýza napětí A-05

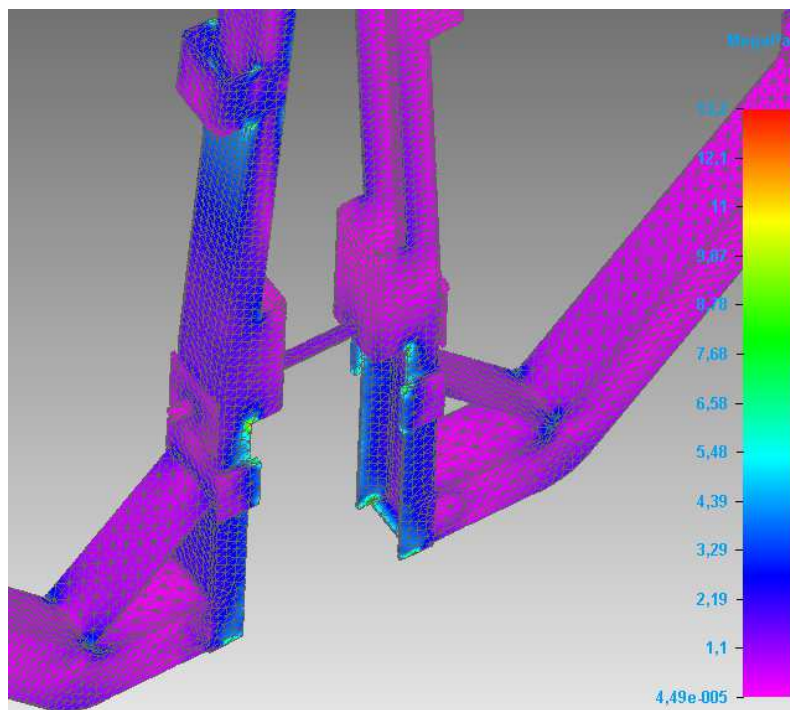
Kotevní úchyt plní ještě druhou funkci, jeho zahnutý volný konec tvoří otevřený hák, do kterého se při výměně poškozeného izolátoru dočasně odkládá vodič. Volný konec kotevního úchytu může být zatížen maximální silou  $F_3=7\text{kN}$ . (V praxi tento vodič při výměně nebude omrzlý, námraza se shazuje). Ostatní síly se neuvažují. Výsledek analýzy napětí A-05 zatíženého kotevního úchytu odloženým vodičem je na obrázku č. 37.

V analýze A-06 se zatížil držák stupačky vertikální silou  $F_3=1,5\text{ kN}$ , od hmotnosti pracovníka 150 Kg. Tato síla vyvolává napětí o velikosti 13,2 MPa. Napjatost způsobuje zanedbatelně velikou deformaci 0,09 mm, viz obr. 38.

Výsledky pevnostní analýzy A-06:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 13,2 MPa
- Maximální posunutí: 0,09 mm





Obr. 38: Analýza napětí A-06

Analýza A-07 (obr. 39) simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-04, která je sice v praxi téměř vyloučená, ale pro zajímavost je zde uvedena. Při uvažované výměně izolátoru je jisté, že před výstupem pracovníka na konzolu se případná námraza na vodičích z okolních polí shodí, tím klesnou hodnoty tíhy vodičů F3. Při extrémních nahodilých zatížení v podobě silného větru se navíc takovéto práce z bezpečnostního hlediska nevykonávají.

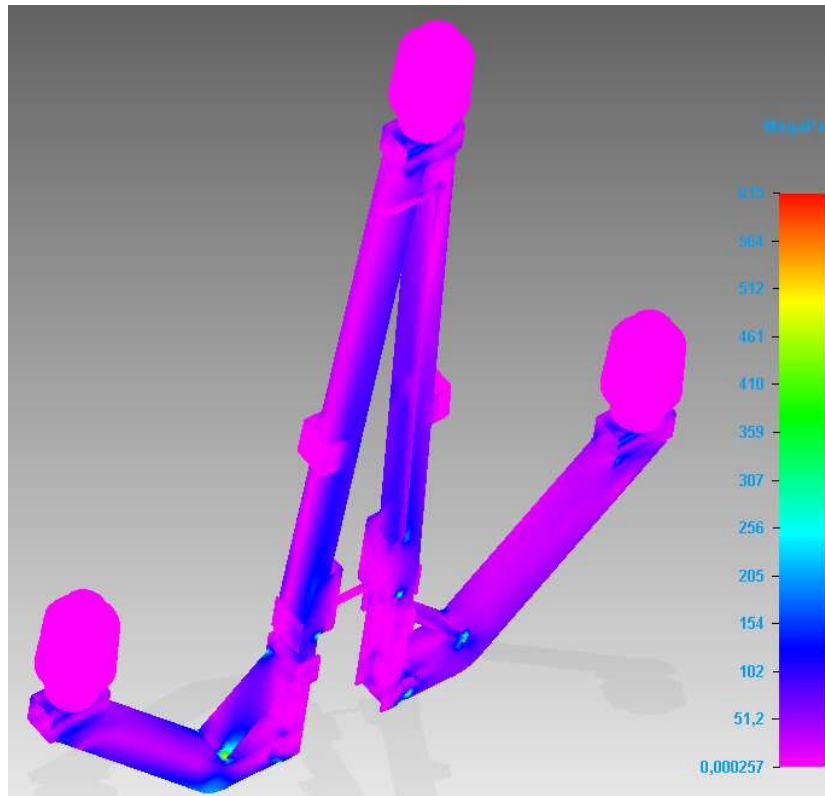
Výsledky pevnostní analýzy A-07:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,7 mm

Poslední analýza A-08 simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-06, která je rovněž v praxi vyloučená. Pracovník bude na konzolu vystupovat kvůli výměně izolátoru až po opadané námraze na vodičích ze sousedních polí. Silný vítr je nepřipustný.

Výsledky pevnostní analýzy A-08:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,4 mm



Obr. 39: Analýza napětí A-07

Po provedení analýz jsou známy hodnoty posunutí (přetvoření) a napjatost konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Nyní zbývá vypočítat dovolené návrhové únosnosti jak použitého základního materiálu S235, tak i materiálu svarového kovu koutových svarových spojů.

### 4.3 Výpočet návrhové únosnosti

#### 4.3.1 Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR

Návrhová únosnost použitého základního materiálu konstrukce S235JR se vypočte podle vztahu (3.8). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_M$  je zvolen podle normy ČSN EN 1993-1-1.

- Návrhová únosnost materiálu S235:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{235}{1,00} = 235 \text{ MPa}$$

kde je:

- dolní mez kluzu oceli S235JR:  $R_k = 235 \text{ [MPa]}$
- dílčí součinitel spolehlivosti materiálu:  $\gamma_M = 1,00 \text{ [-]}$



### 4.3.2 Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru

Návrhová únosnost koutových svarových spojů se vypočte podle vztahu (3.10). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_{M2}$  a korelační součinitel  $\beta_w$  jsou zvoleny podle normy ČSN EN 1993-1-8.

Návrhová pevnost koutového svaru ve smyku:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207 \text{ MPa}$$

kde je:

- |                                                       |                        |
|-------------------------------------------------------|------------------------|
| - jmen. hodnota meze pevnosti v tahu pro ocel S235JR: | $f_u=360$ [MPa]        |
| - korelační součinitel pro ocel S235:                 | $\beta_w=0,8$ [-]      |
| - dílčí součinitel spolehlivosti (únosnosti svaru)    | $\gamma_{M2}=1,25$ [-] |

## 4.4 Ověření funkčnosti

Podle výrobní dokumentace konzoly PAŘÁT-III-JB-N (příloha č. 3 až 19) byl vyroben reálný prototyp, na kterém se provedla zatěžovací zkouška únosnosti, podle metodiky ověřování funkčnosti ve společnosti ES. Zatěžovací zkouška únosnosti je řízena normou ČSN EN 73 2030.

### 4.4.1 Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti

Prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N se upnul na zkrácený betonový sloup, umístěný ve zkušebním polygonu. Vzhledem k omezenému počtu měřicího zařízení (jeřábová váha – 1 kus) a k omezenému nastavení směru provozního zatížení na zkušebně, se musela provést určité opatření.

- Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil.

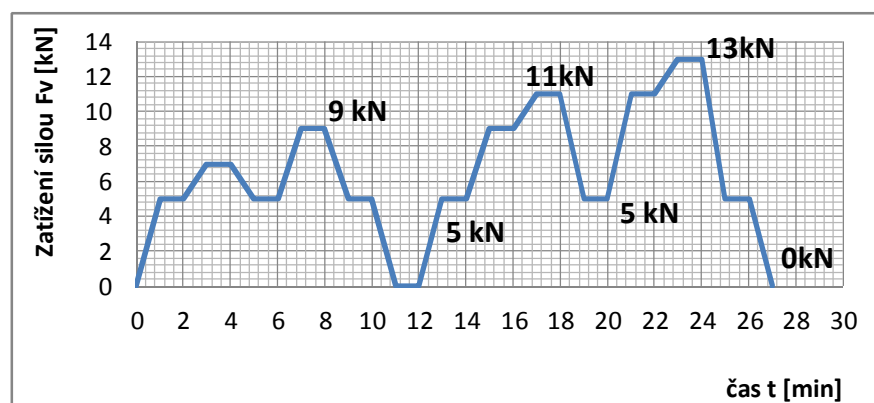
$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 7^2} = 8,2 \text{ kN}$$

- Konzola se umístila spolu s kladkami tak, aby natažené lano od izolátoru příslušného ramena směrem ke kladce simulovalo směr výsledného zatížení  $F_v$ .
- Není umožněno zatěžovat všechny tři ramena najednou, zkoušky únosnosti se proto rozdělí na jednotlivé etapy, ve kterých se bude měřit pouze jedno příslušné místo.

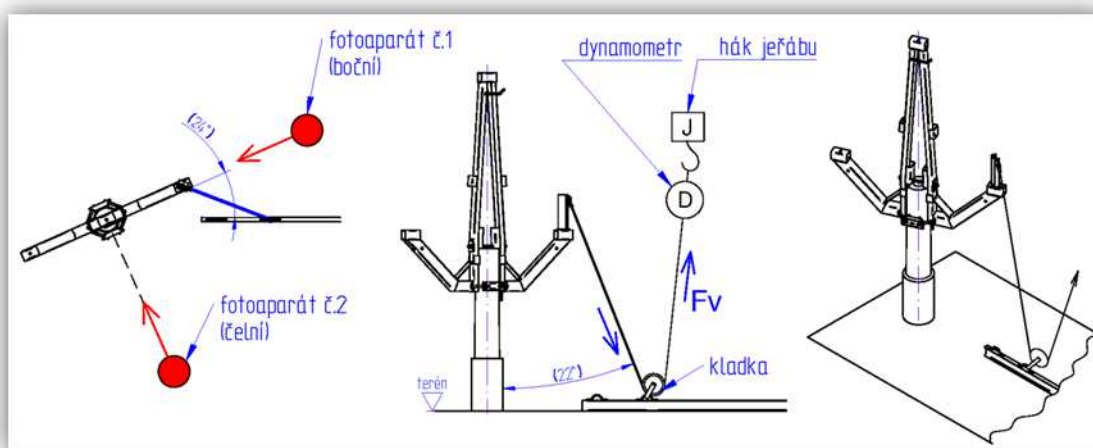
Podle výsledků pevnostní analýzy v softwaru Simulation, je důležité se zaměřit především na zatížení bočního ramena a středního ramena. Zatěžovací zkoušku únosnosti kotevního úchyty a držáku stupačky lze s ohledem na přesvědčivé výsledky pevnostní analýzy zanedbat.

#### 4.4.2 Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena

Zatěžovací zkouška bočního ramena se připravila podle obrázku č. 41, samotný proces zatěžování se provedl podle zatěžovacího diagramu na obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 18 °C.



Obr. 40 – Zatěžovací diagram zkoušky únosnosti bočního a středního ramena



Obr. 41: Pracoviště zatěžovací zkoušky bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Vizuální kontrola bočního ramena při maximálním provozním zatížení  $F_v=9$  kN, nevykázala v okolí svarových spojů žádné praskliny ani trhliny. Na profilech konzoly nevzniklo žádné boulení stěn ani viditelný ohyb ramena. Dále se kontrolovalo usmýknutí třmenové objímky na hlavě betonového sloupu, které se neprojevovalo.

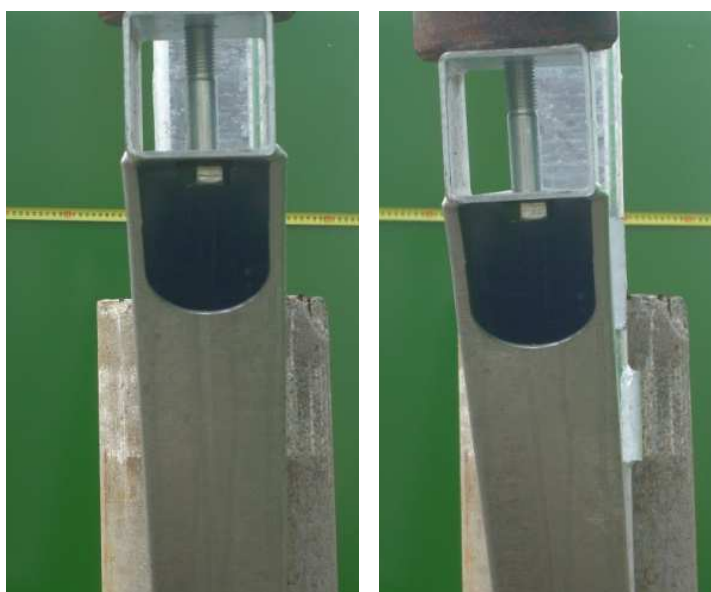
Boční rameno se proto zatížilo na hodnotu  $F_v=11$  kN (nenastaly viditelné deformace) a po odlehčení až na  $F_v=13$  kN. Při zatížení  $F_v=13$  kN se viditelně začala odlupovat vrstva zinkového povlaku v okolí svarových spojů. Opěrné desky se silně zařízly do betonového sloupu. U bočního ramena došlo k viditelnému ohybu profilů. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN se rameno nevrátilo do původní polohy, proběhly nepřijatelné trvalé deformace. Mez únosnosti nastala při zatížení v rozsahu od 12 do 13 kN, uvažovat se bude spodní hranice.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{v\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

V normě ČSN 73 2030 se požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP}=1,3$ , pokud se konstrukce deformuje jinak, platí  $\gamma_{EXP}=1,5$ . Jediný viditelný následek napjatosti byl ohyb profilů bočního ramena, proto platí  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení.

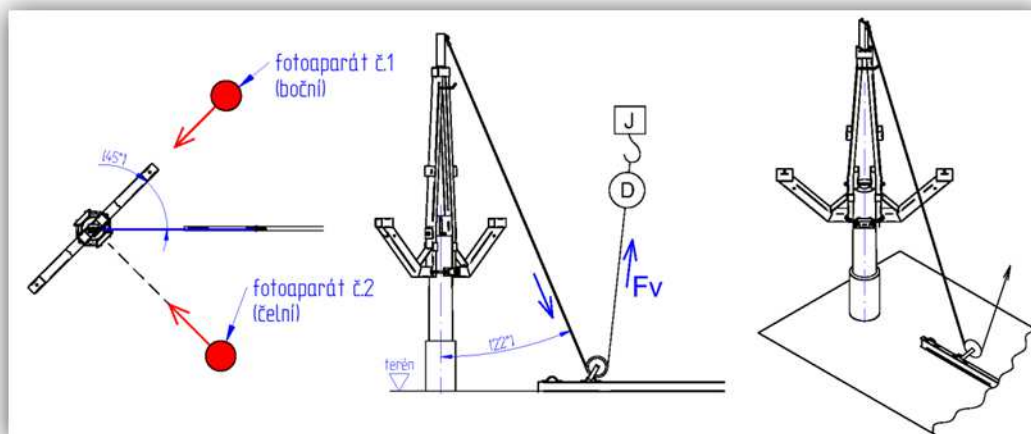
Na obrázku č. 42 je zachyceno přetvoření bočního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti. Měření velikosti maximálního prostorového přetvoření se pro obtížnost neprovedlo, navíc se mírně naklonil i samotný zkušební sloup, který nebyl dokonale ukotven v základové patce.



Obr. 42: Přetvoření bočního ramena: vlevo – při  $F_v=9$  kN, vpravo – při  $F_v=13$  kN

#### 4.4.3 Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena

Zatěžovací zkouška středního ramena se připravila podle obrázku č. 43, proces zatěžování se provedl podle stejného zatěžovacího diagramu jako u bočního ramena podle obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 19 °C.



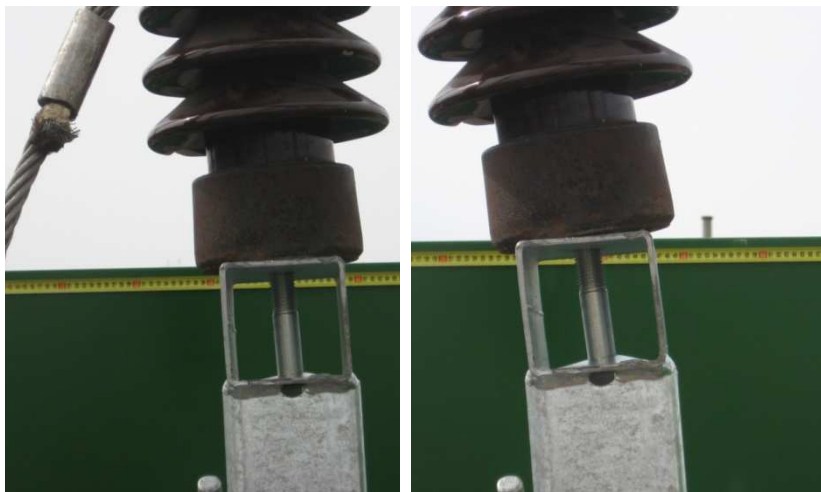
Obr. 43: Pracoviště zatěžovací zkoušky středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Na středním rameni nevznikly při zatížení  $F_v=13$  kN žádné viditelné trvalé deformace. Konzola se ovšem začala mezi hodnotami zatížení 13 a 14 kN usmýkat na betonovém sloupu. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN, konzola vykázala drobný ohyb profilů středového ramena. Bude se proto uvažovat mez únosnosti při zatížení o velikosti 13 kN.

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N.

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Střední rameno splňuje požadovanou minimální spolehlivost zkoušení  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Na obrázku č. 44 je zachyceno přetvoření středního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti.



Obr. 44: Přetvoření středního ramena: vlevo – při  $F_v=9\text{kN}$ , vpravo – při  $F_v=14\text{kN}$

## 5 Vyhodnocení výsledků

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Následně se stanovily hodnoty návrhové únosnosti použitého materiálu a provedla se pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation. Poté se vyrobil reálný prototyp konzoly, na kterém proběhla zatěžovací zkouška únosnosti. Výsledky těchto úkonů byly vyhodnoceny v následujících kapitolách.

### 5.1 Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy

Na výpočtovém modelu bylo provedeno osm pevnostních analýz, viz tabulka č. 12. Nejdůležitější jsou však výsledky napětí analýzy A-03, ve které se konzola zatížila maximálním provozním zatížením všemi třemi vodiči najednou ( $F_1=F_2=3\text{kN}$  a  $F_3=7\text{kN}$ ).

Analýza napětí v A-03 odhalila na ostrých přechodech mezi geometrií některých dílů konzoly miniaturní oblasti s vysokou koncentrací napětí. Tyto nežádoucí oblasti se nazývají vruby a ve svařovaných ocelových konstrukcích tohoto typu jsou nevyhnutelné.

Vypočtené napětí, které se koncentruje na ostrých přechodech geometrie, je třeba brát pouze jako informativní (teoretické), ale nejsme schopni říct o kolik je nadhodnoceno [10]. Jak se vruby projeví na reálné konstrukci, ukáže zatěžovací zkouška únosnosti reálného prototypu

Tab. 12 – Souhrn výsledků pevnostních analýz v Solid Edge Simulation

| č. zkoušky                                        | A-01  | A-02  | A-03  | A-04 | A-05 | A-06 | A-07 | A-08 |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(v centrech vrubů) | 774   | 338   | 615   | /    | /    | /    | 615  | 615  |
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(mimo vruby)       | 195   | 145   | 195   | 27,1 | 181  | 13,2 | 195  | 195  |
| Posunutí (přetvoření) [mm]                        | 12,70 | 17,40 | 17,40 | 0,33 | 1,12 | 0,09 | 17,7 | 17,4 |

Pomine-li se v analýze A-03 výskyt vrubů, bylo naměřeno v materiálu konzoly maximální napětí  $\sigma_{\max}=195\text{ MPa}$ .

Pro základní materiál S235JR musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{\max} \leq R_d$  (3.9).

Tato podmínka je splněna ( $\sigma_{\max} = 195\text{ MPa} \leq 235\text{ MPa}$ ).

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{max} \leq f_{vw,d}$  (3.11). Tato podmínka je rovněž splněna ( $\sigma_{max} = 195 \text{ MPa} \leq 207 \text{ MPa}$ ).

## 5.2 Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti

Provedení zatěžovací zkoušky únosnosti všemi třemi vodiči najednou nebylo umožněno, kvůli nedostatečnému vybavení zkušebny společnosti ES. Zkoušky únosnosti se proto rozdělily dvě etapy, v první se zatížilo boční rameno a ve druhé rameno střední. Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil viz kapitola 4.4.1.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,46$ .

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Střední rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,58$ .

Výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti potvrdily výsledky pevnostních analýz. Konstrukce se ve vrubech ve skutečnosti nedeformovala i přesto, že pevnostní analýza označila tyto místa za nevyhovující, protože se v nich překročila stanovená návrhová únosnost materiálu. Naopak daleko dříve se začala konzola trvale deformovat v okolí těchto vrubů.

### **5.3 Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N**

Konzola PAŘÁT-III-JB-N vyhovuje všem zákonnými, konstrukčním i pevnostním požadavkům. Únosnost konzoly je dimenzována na maximální provozní zatížení, které je cca 1,5x větší, než zatížení které může v provozu nastat. V praxi se navíc ukázalo, že maximální provozní zatížení je pouze ojedinělý jev.

Konzola PAŘÁT-III-JB-N podle pověřené agentury AOPK snížila riziko úhynu volně žijícího ptactva na minimální úroveň, viz odborná stanoviska v přílohách č. 25 až 27. Tím se stala jedinou takto klasifikovanou konzolou v ČR.



## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její únosnost. Únosnost konzoly se ověřila jak pevnostní analýzou v softwaru Solid Edge Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly podle všech stanovených požadavků, na kterém se zrealizovala pevnostní analýza Simulation a zatěžovací zkouška únosnosti. Konzola PAŘÁT-III-JB-N pevnostně vyhověla u obou metod, ovšem pro komplexní posouzení funkčnosti nelze jednu před druhou upřednostnit.

Pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation, rychle a objektivně posoudila napjatost a deformaci uvnitř materiálu. Při zjednodušení výpočtového modelu a jejich vazeb s betonovým sloupem zase nepřesně vyhodnotila reálné chování konzoly na betonovém sloupu a označila ostré přechody mezi jednotlivými díly za pevnostně nevyhovující, což může vyvolat řadu spekulací.

Zatěžovací zkouška únosnosti naopak kvalitně posoudila reálné chování konstrukce na betonovém sloupu, ale bez speciálních tenzometrických měřících zařízení neumožnila vyhodnotit napjatost uvnitř materiálu.

Při vhodné kombinaci těchto dvou nástrojů se může výrazně zkrátit čas určený pro návrh, stejně tak lze zamezit opakované výrobě nevyhovujících prototypů a v neposlední řadě lze optimalizovat sílu zvoleného materiálu. Tím lze ušetřit nemalé finanční prostředky a zvýšit kvalitu výrobku. Vzhledem k tomu, že tato pevnostní analýza je první bezprecedentní zkušeností společnosti ES s analytickým posuzováním únosnosti výrobku, bude se tato metoda ve firemním prostředí neustále rozvíjet a zdokonalovat.

Myšlenka provádět v budoucnosti kontrolu únosnosti konzol pouze analyticky v softwaru Solid Edge - Simulation není v tuto chvíli možná, protože společnost ES neumí správně vyhodnotit vlastnosti vyskytlých vrubů, kde dochází k vysoké koncentraci napětí a také nedokáže analyticky vyjádřit kontakty mezi ocelovými profily a betonovým konickým sloupem, což může být podnětem pro další zkoumání.

# Seznam literatury a internetových stránek

- [1] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. Brno: EGÚ Brno, a.s., 2008.
- [2] MENTL, V.; VLK, M.; ROTTER, T.; BARTÁK, J.: *Konstrukce a provedení*. Plzeň: 2011.
- [3] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN 73 2030. *Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí: Společná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] *Energetika servis s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2013-03-04].  
Dostupné z: <http://www.energetika-servis.cz/>
- [8] *AXIOM TECH* [online]. [cit. 2013-05-10].  
Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/>
- [9] *TVP group s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20].  
Dostupné z: <http://www.tpvgroup.cz/>
- [10] CAD III Pevnostní analýzy, Zdeněk konečný, Václav Krys, Ostrava 2007  
KONEČNÝ, Zdeněk a Václav KRYŠ. *CAD III - Pevnostní analýzy*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1513-8.
- [11] *Miniencyklopedie Elektřina*. [online]. 2003 [cit. 2013-10-04].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [12] *Technické normy společnosti E.ON ČR s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-01-04].  
Dostupné z: <http://ti.eon.cz/cs/normy/>

# Seznam příloh

Příloha č. 01 – Výkres č. 803-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.

Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB

Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru

Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava

Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB

Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.

Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P

Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky

Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska

Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemnicí pásek

Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pás

Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena

Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90

Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB

Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115

Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Těleso objímky JB

Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

Příloha č. 21 – Atest přídavného materiálu pro svařování

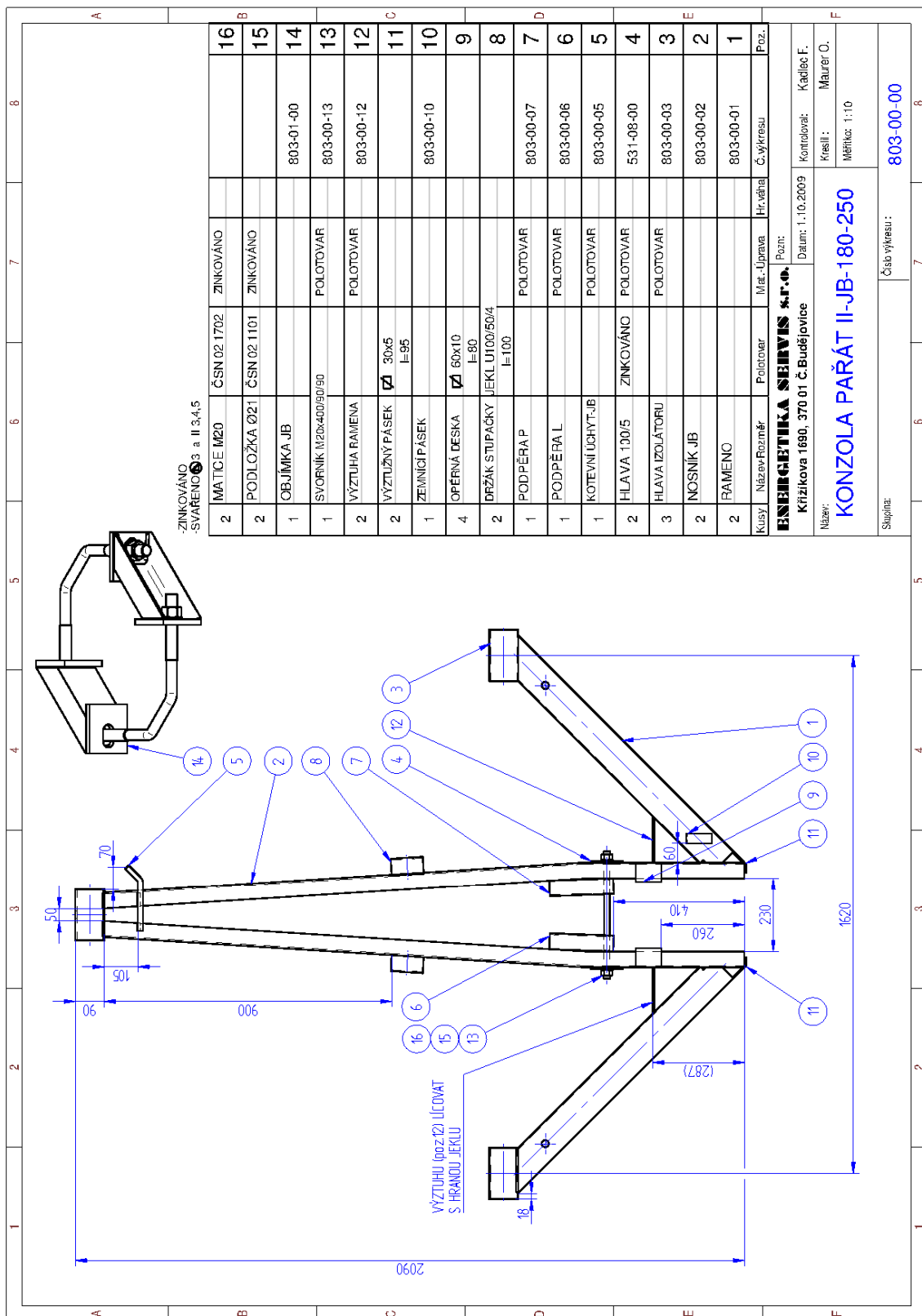
Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

Příloha č. 23 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.1/3

Příloha č. 24 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.2/3

Příloha č. 25 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.3/3

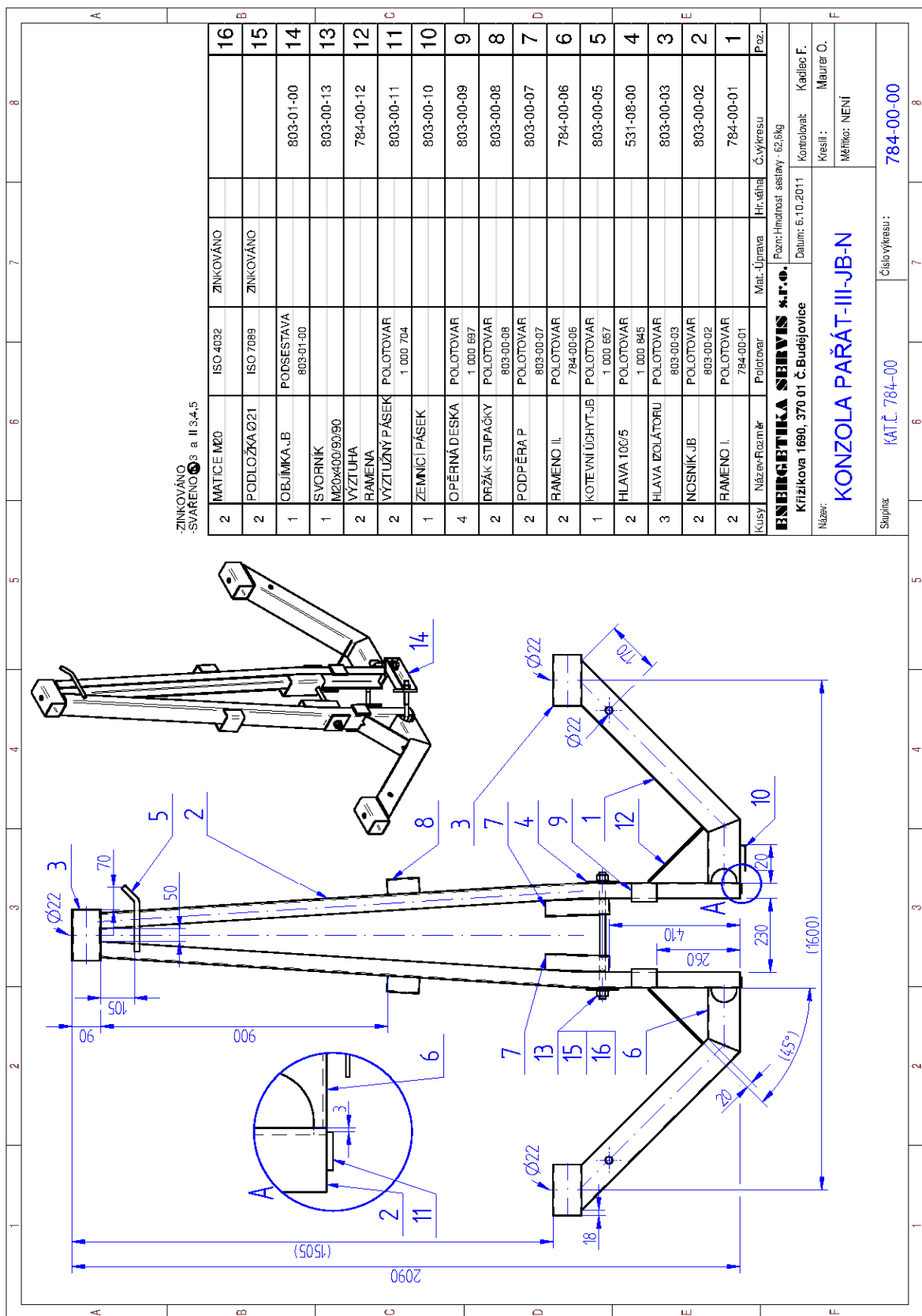
Příloha č. 01 – Výkres sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N



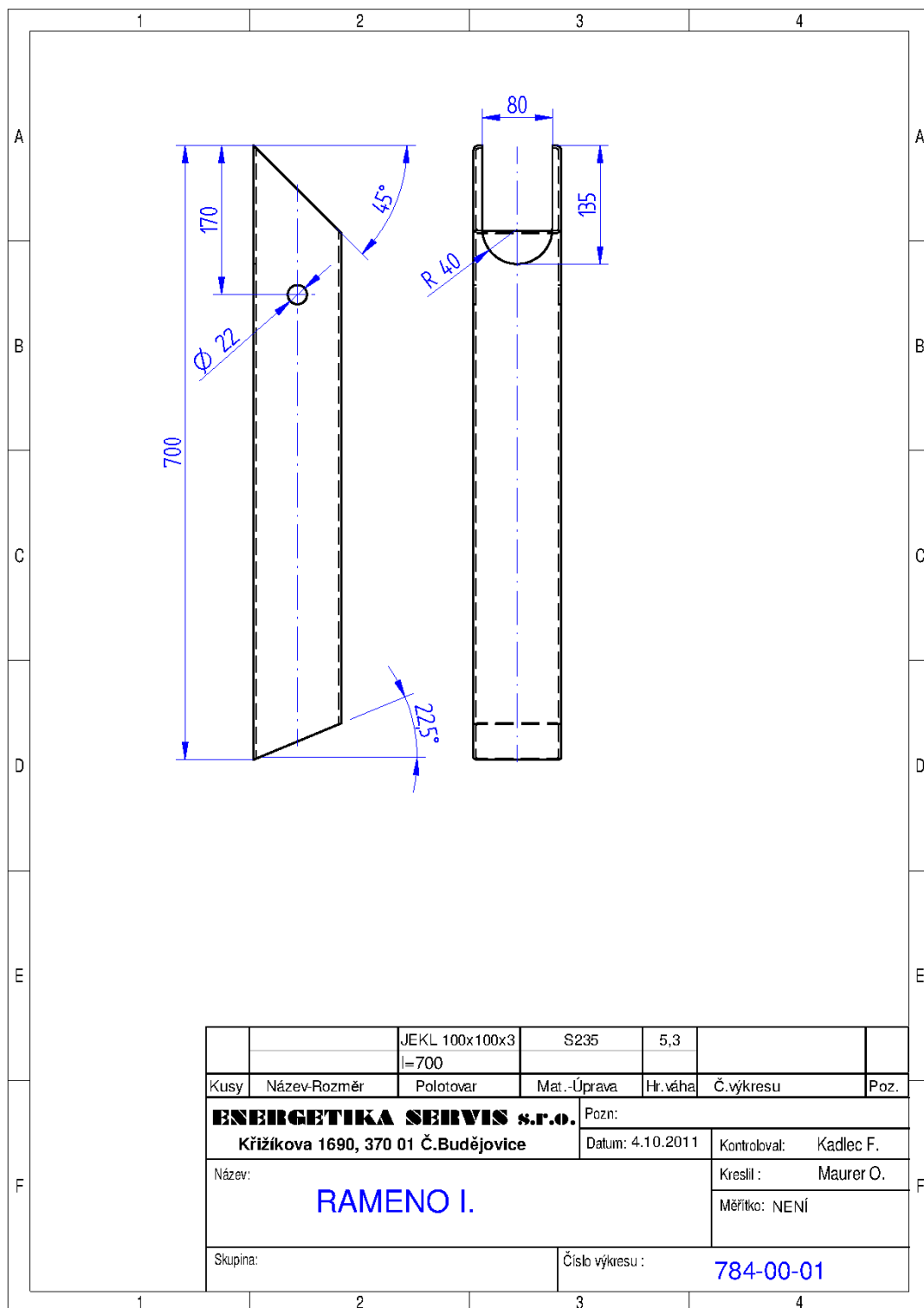
Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

| Název dílu      | Polotovar                                     | Materiál | č. výkresu | Hmotnost | Počet ks v sestavě |
|-----------------|-----------------------------------------------|----------|------------|----------|--------------------|
| Rameno          | Profil TR 4HR100x100x3-1000<br>ČSN EN 10210-2 | S235 JRH | 803-00-01  | 8,1      | 2                  |
| Nosník JB       | Profil U 100x50x5-2000<br>ČSN 42 6963         |          | 803-00-02  | 14,3     | 2                  |
| Hlava izolátoru | Profil TR 4HR 90x90x5-1000<br>ČSN EN 10210-2  |          | 803-00-03  | 1,7      | 2                  |
| Hlava           | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 531-08-00  | 0,38     | 2                  |
| Kotev. úchyt JB | Tyč Ø16-220<br>ČSN 42 5510                    |          | 803-00-05  | 0,4      | 1                  |
| Podpěra L       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-06  | 1,3      | 1                  |
| Podpěra P       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-07  | 1,3      | 1                  |
| Držák stupačky  | Profil U 100x50x4-100<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-08  | 0,59     | 2                  |
| Opěrná deska    | Tyč PLO 60x10-80<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-00-09  | 0,38     | 4                  |
| Zemníčí pásek   | Plech P 3 – 30x100<br>ČSN 42 5310             |          | 803-00-10  | 0,1      | 1                  |
| Výztužný pásek  | Tyč PLO 30x5-95<br>ČSN 42 5340.01             |          | 803-00-11  | 0,1      | 2                  |
| Výztuha ramena  | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 803-00-12  | 0,55     | 2                  |
| Tělo objímky    | Profil U80-380<br>ČSN 42 5570                 |          | 803-01-02  | 1,9      | 2                  |
| Bok objímky     | Tyč PLO 80x10-85<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-01-02  | 0,5      | 4                  |

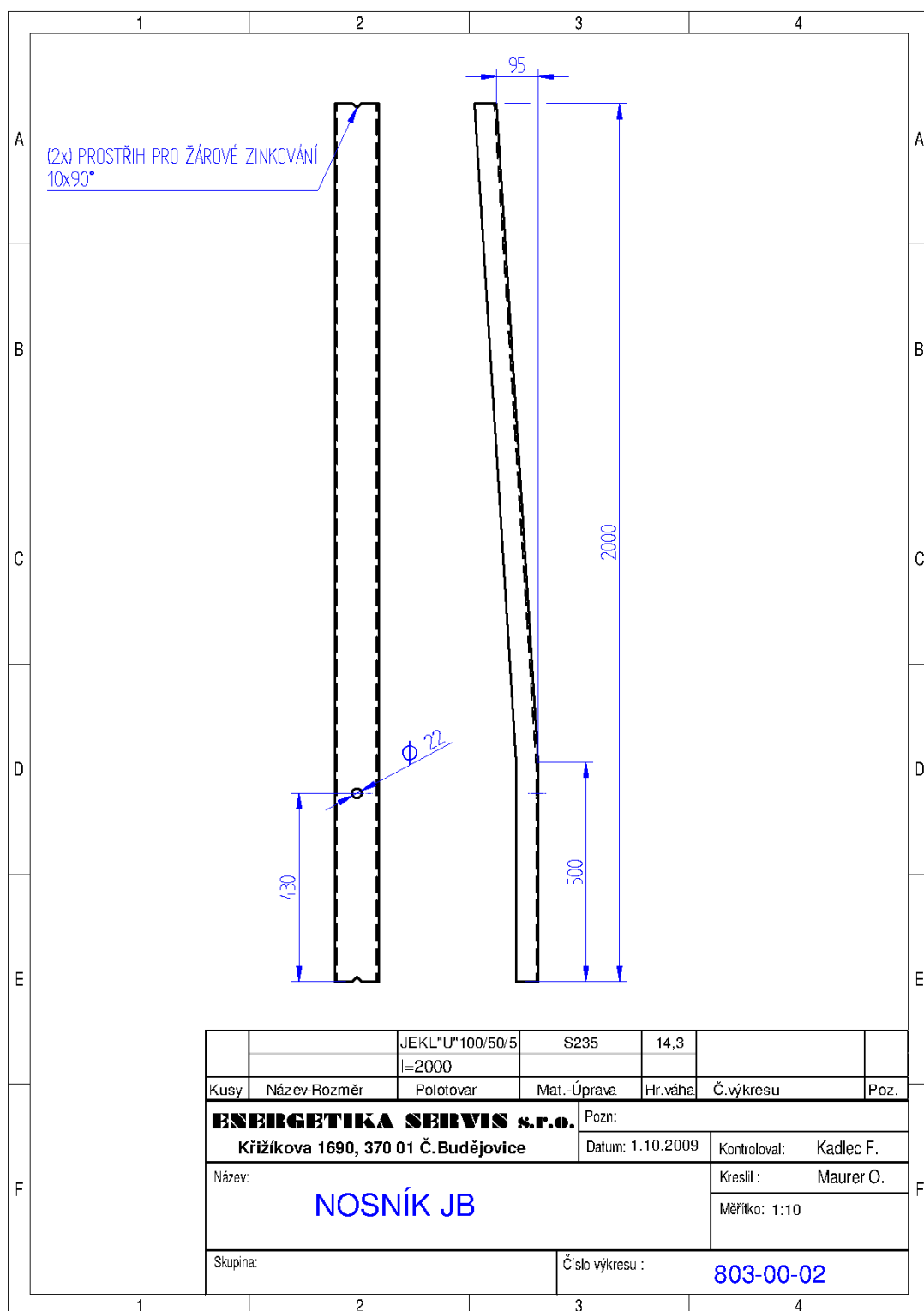
Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N



Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.

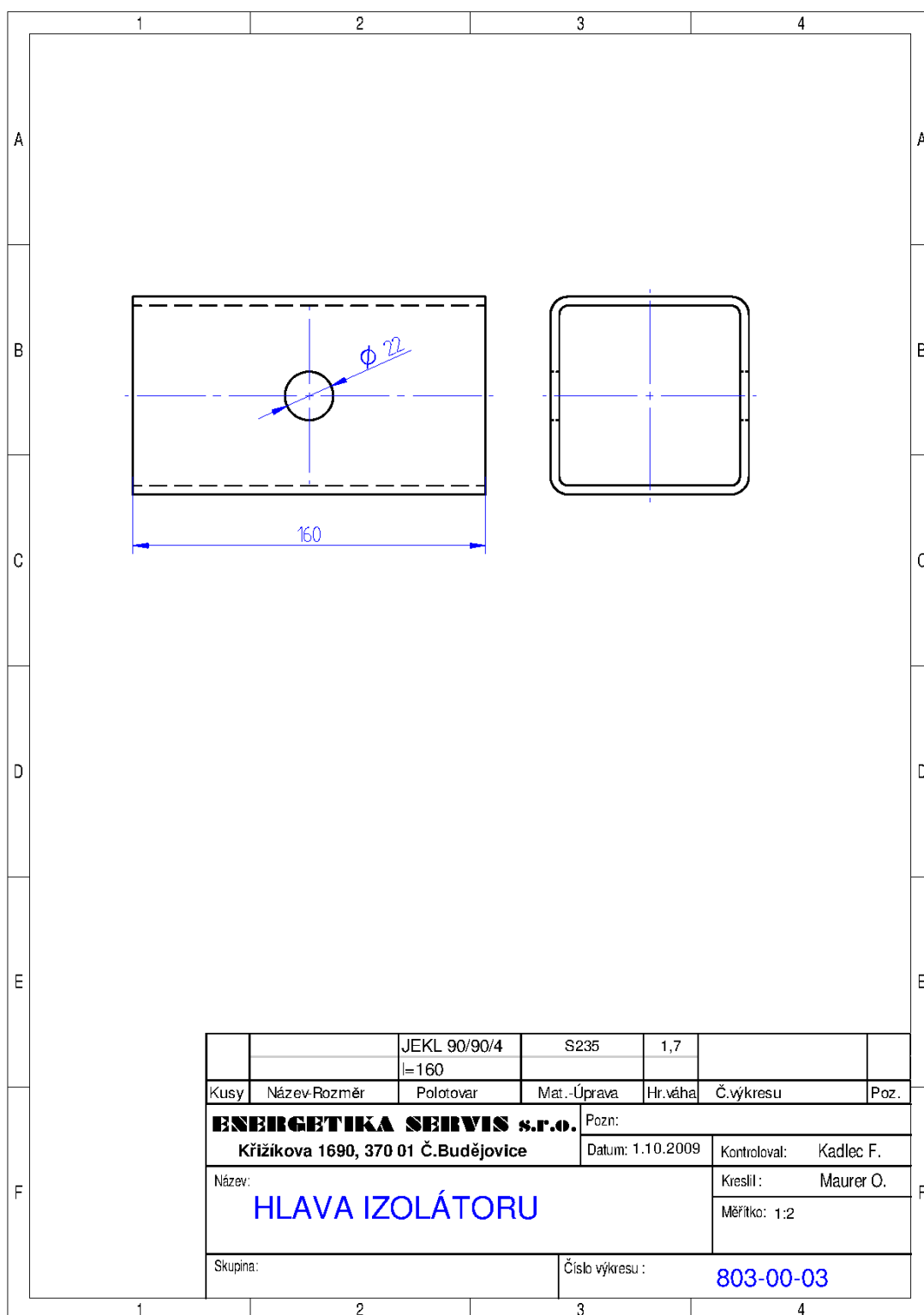


Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB

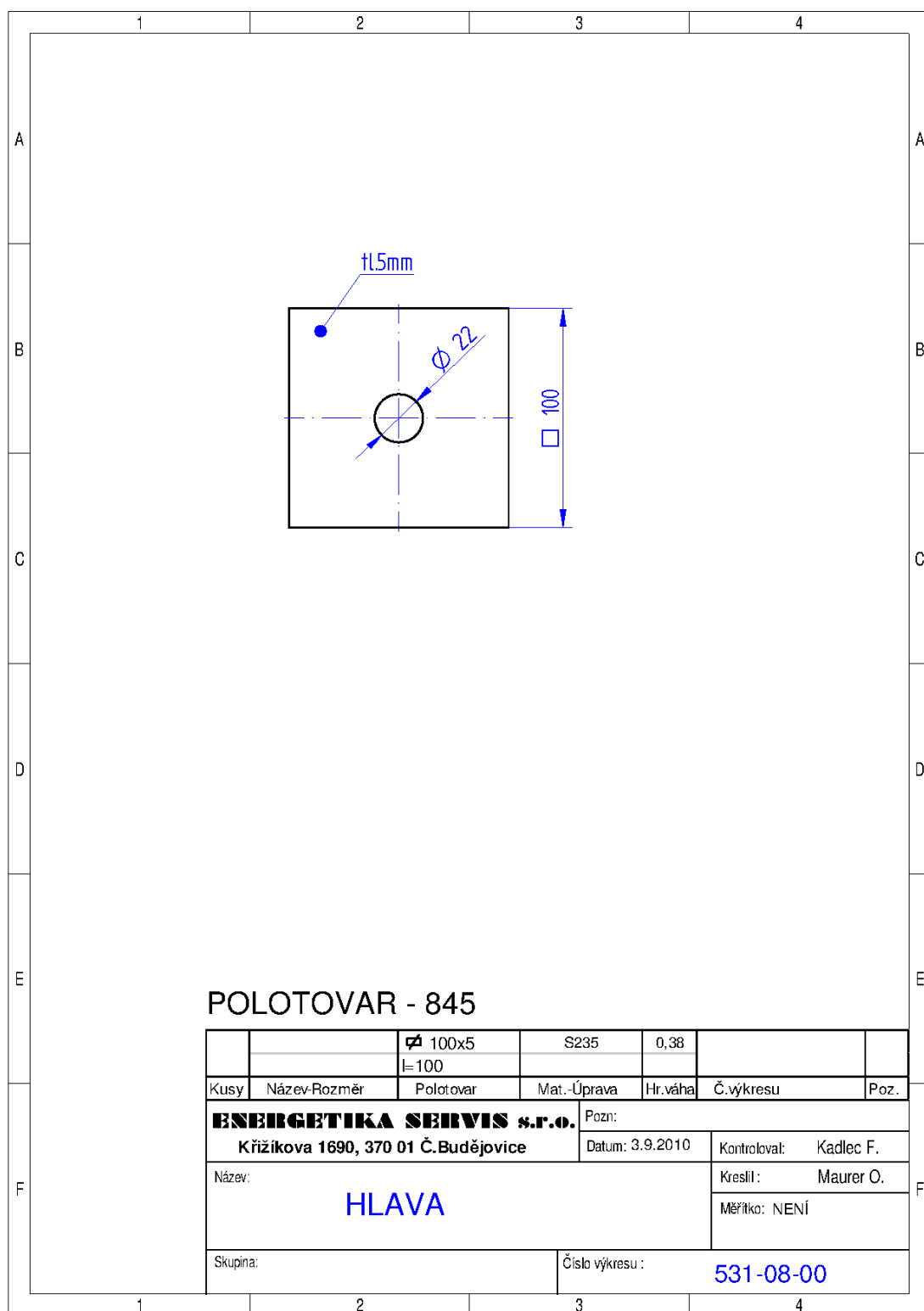




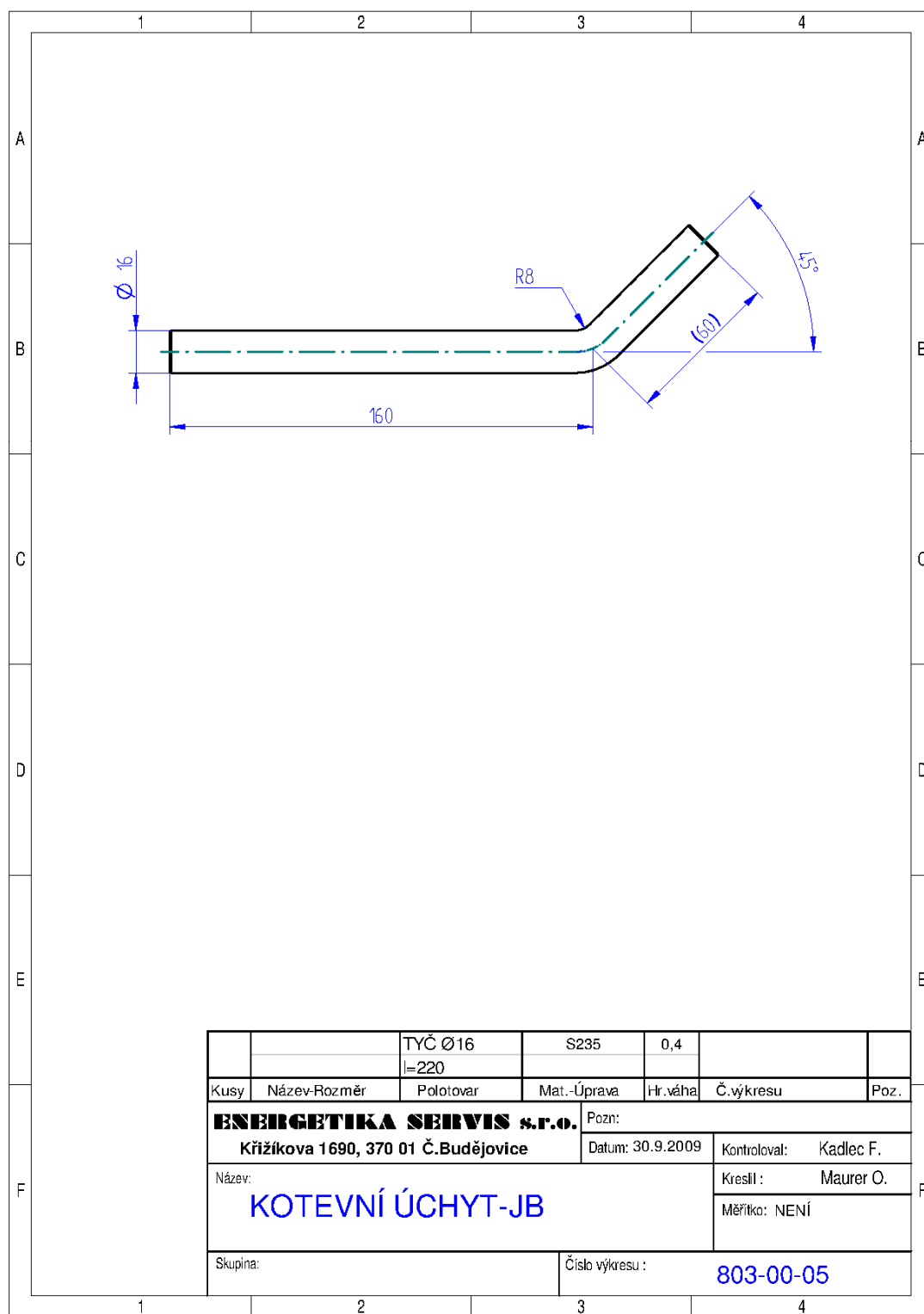
Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru



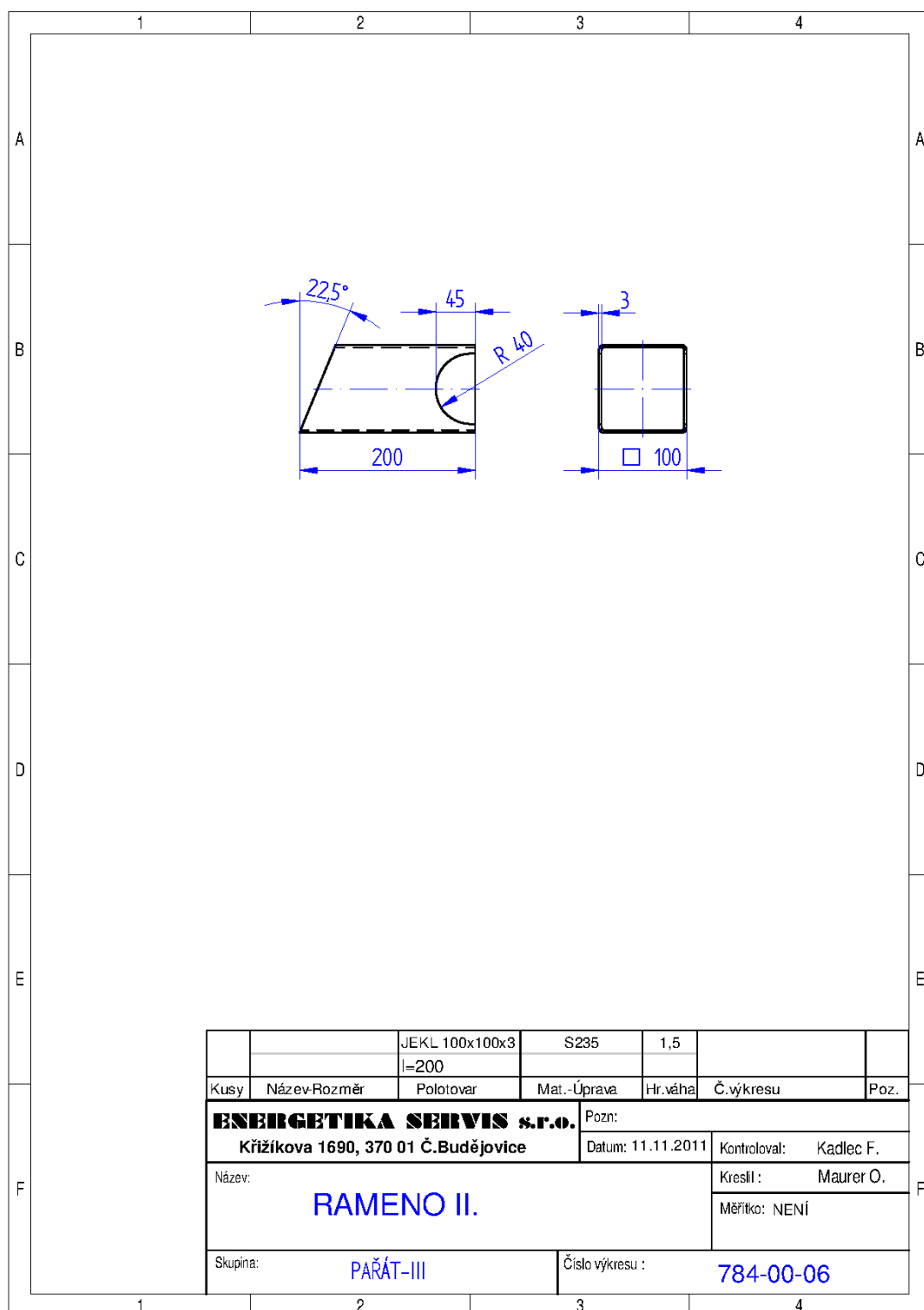
Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava



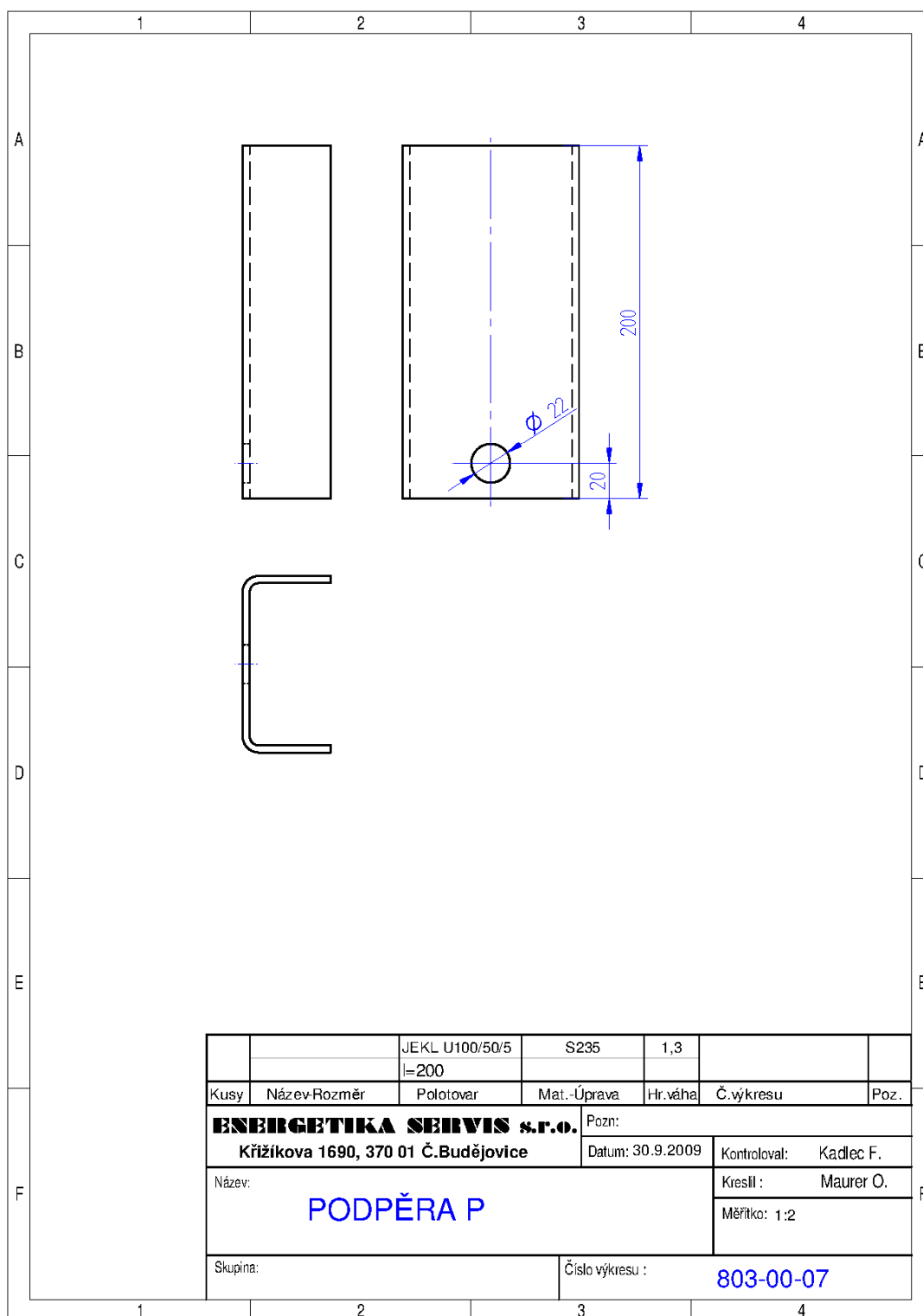
Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB



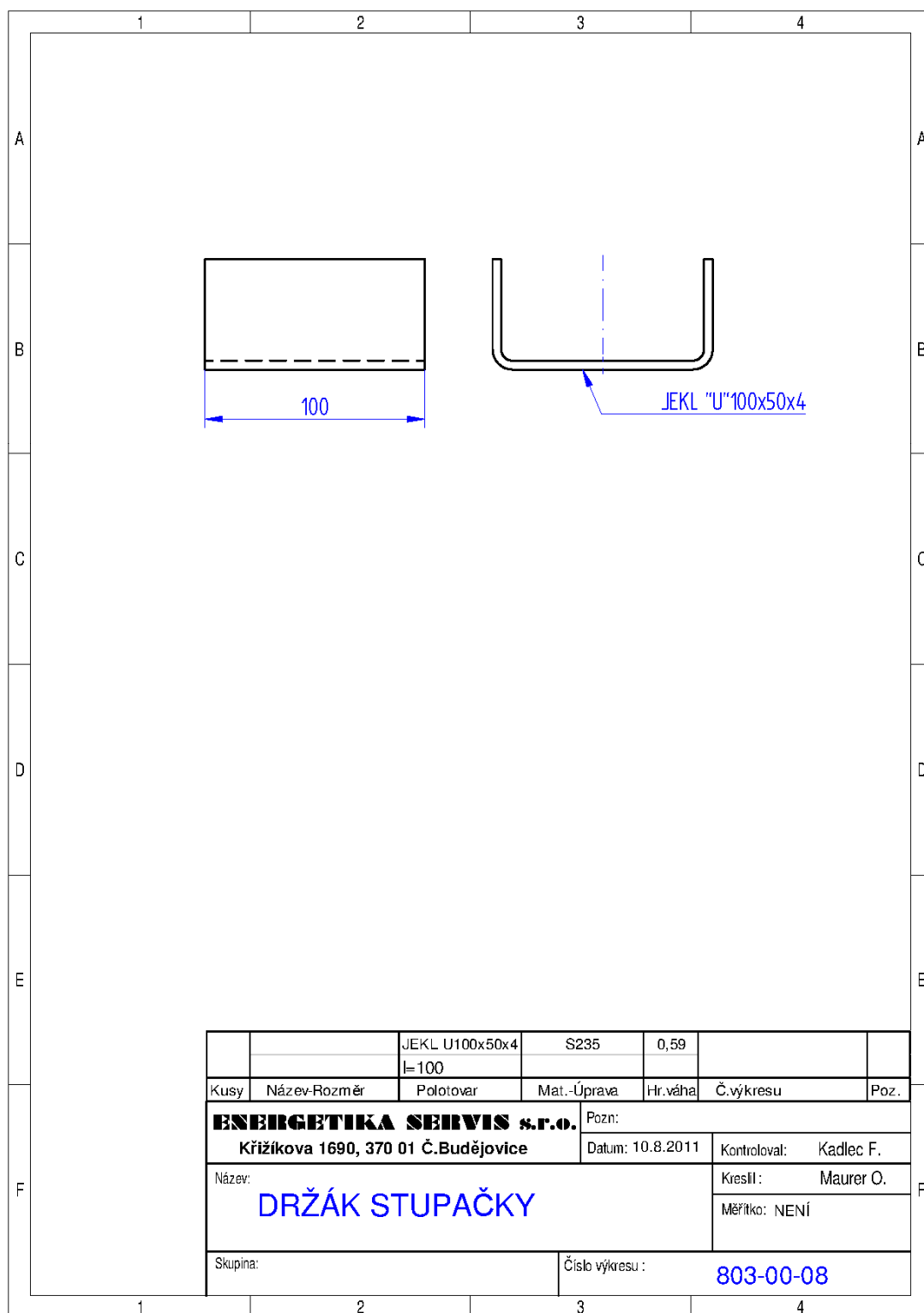
Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.



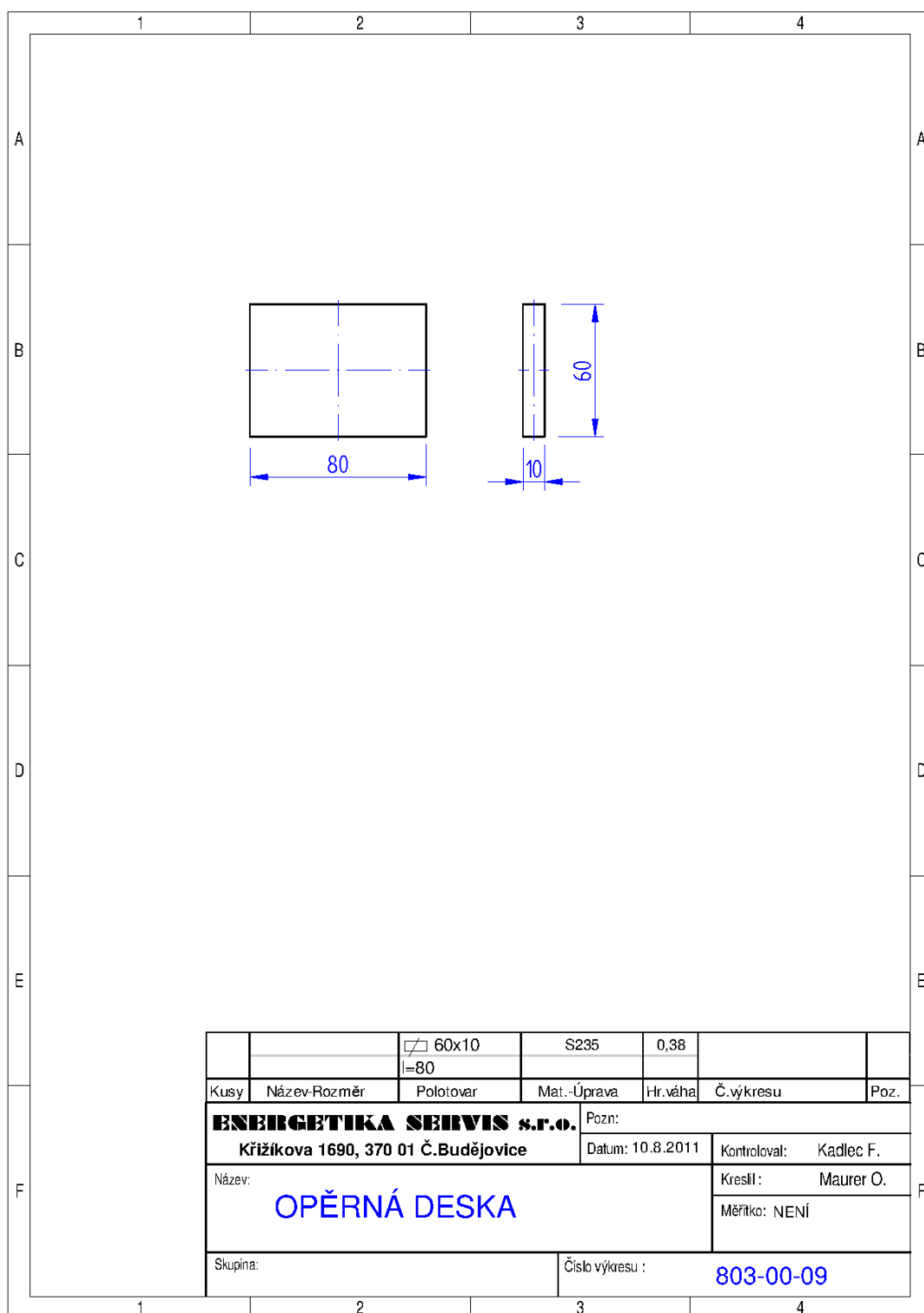
Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P



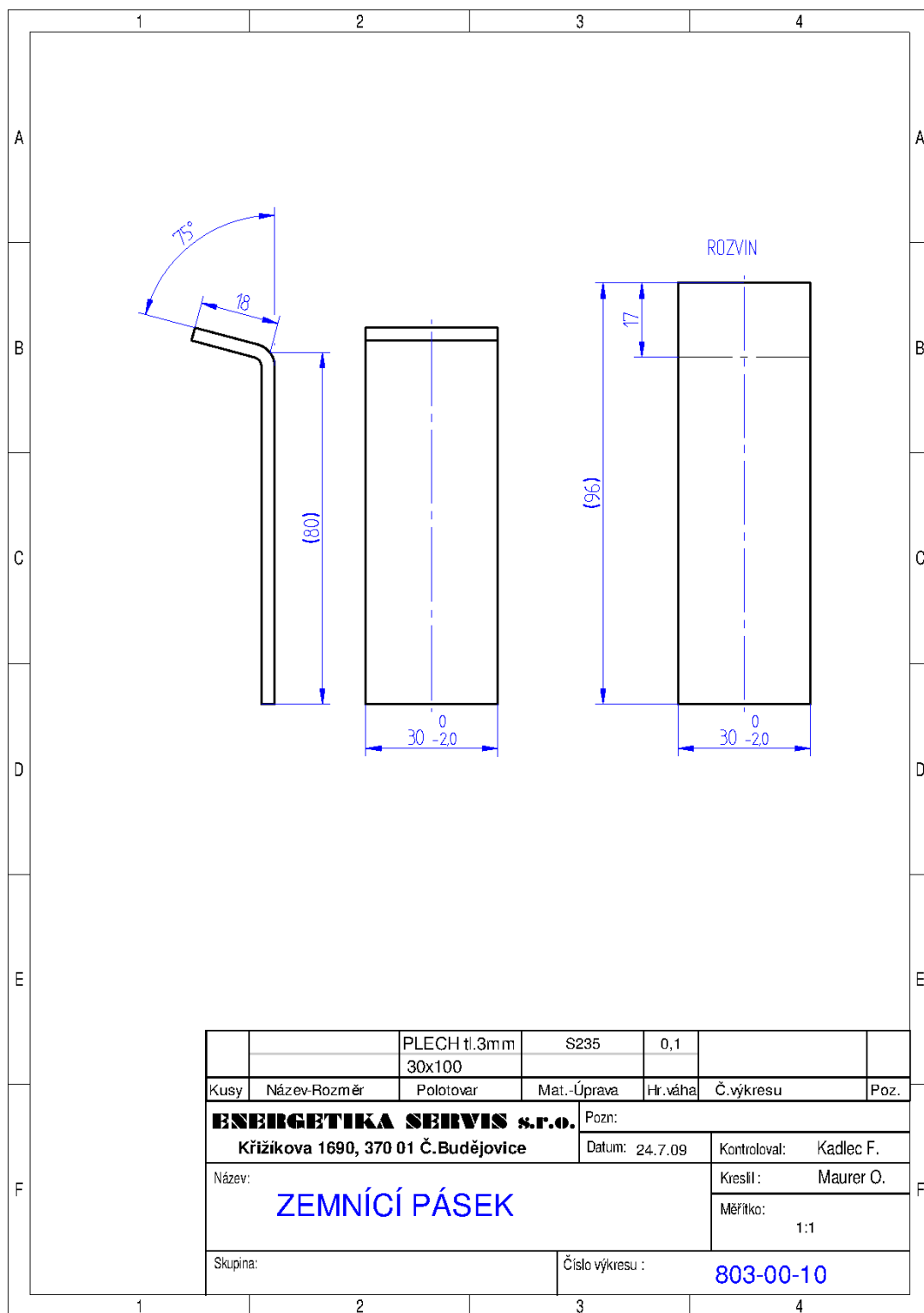
Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky



Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska

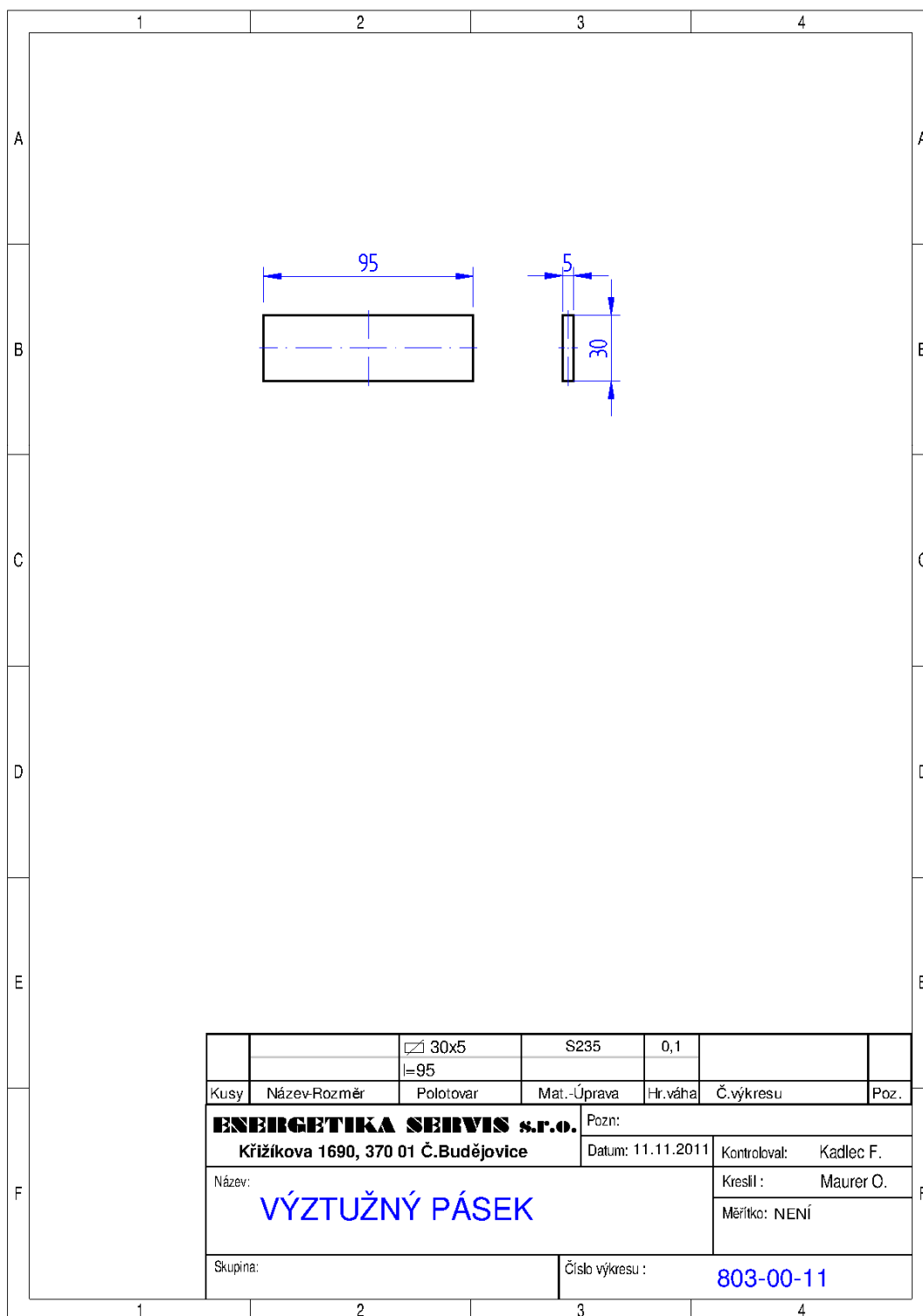


Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemní pásek

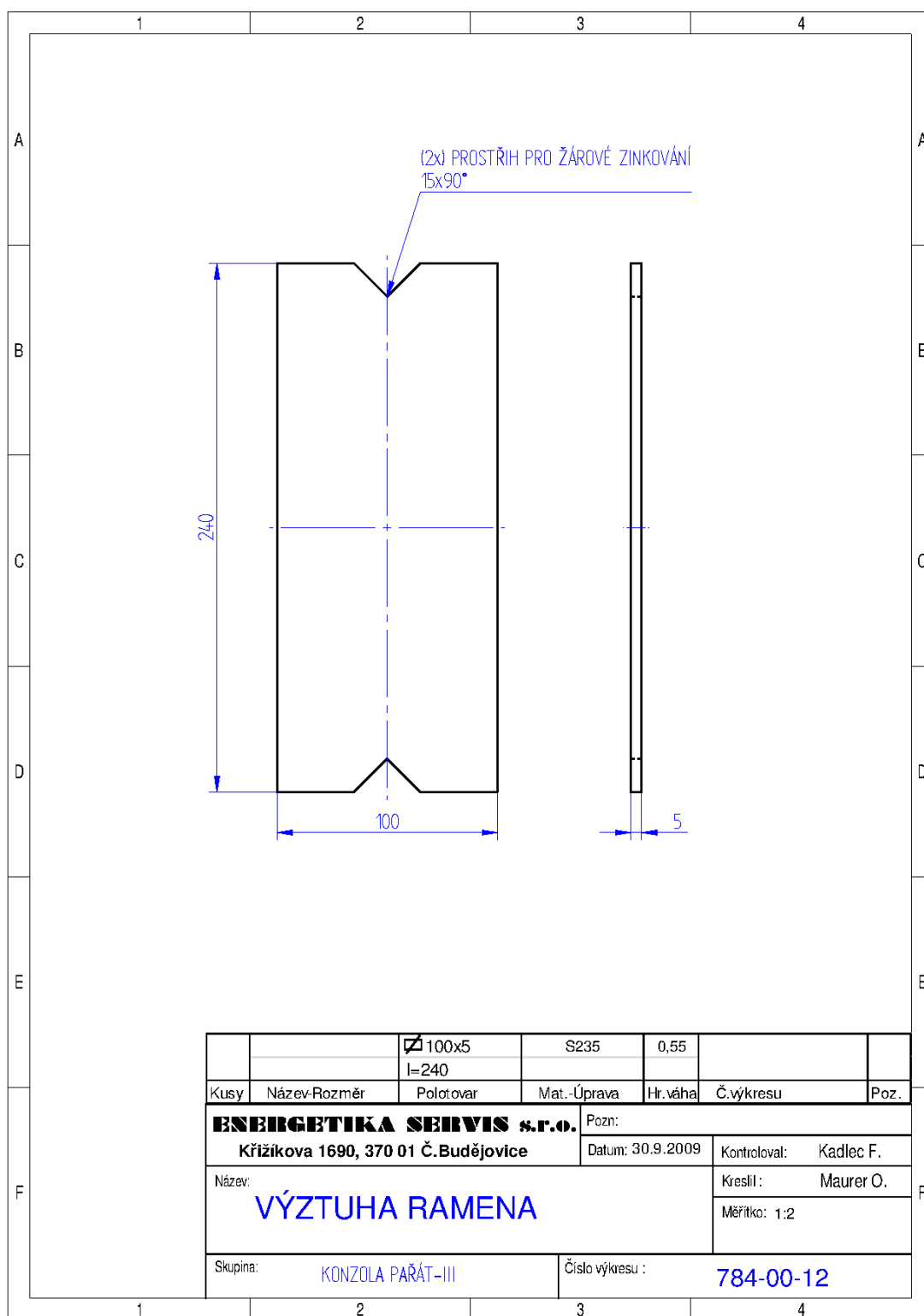




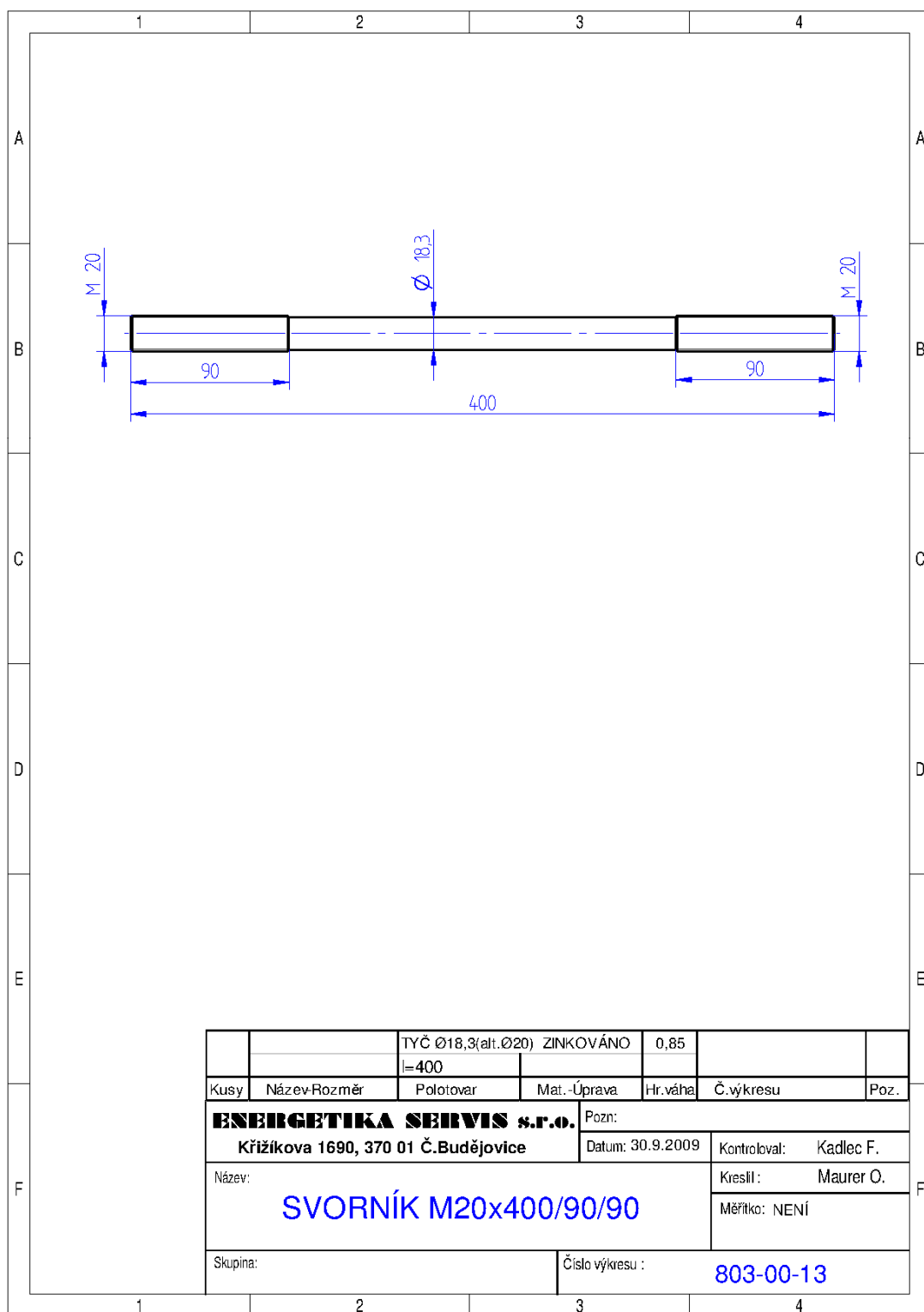
Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pásek



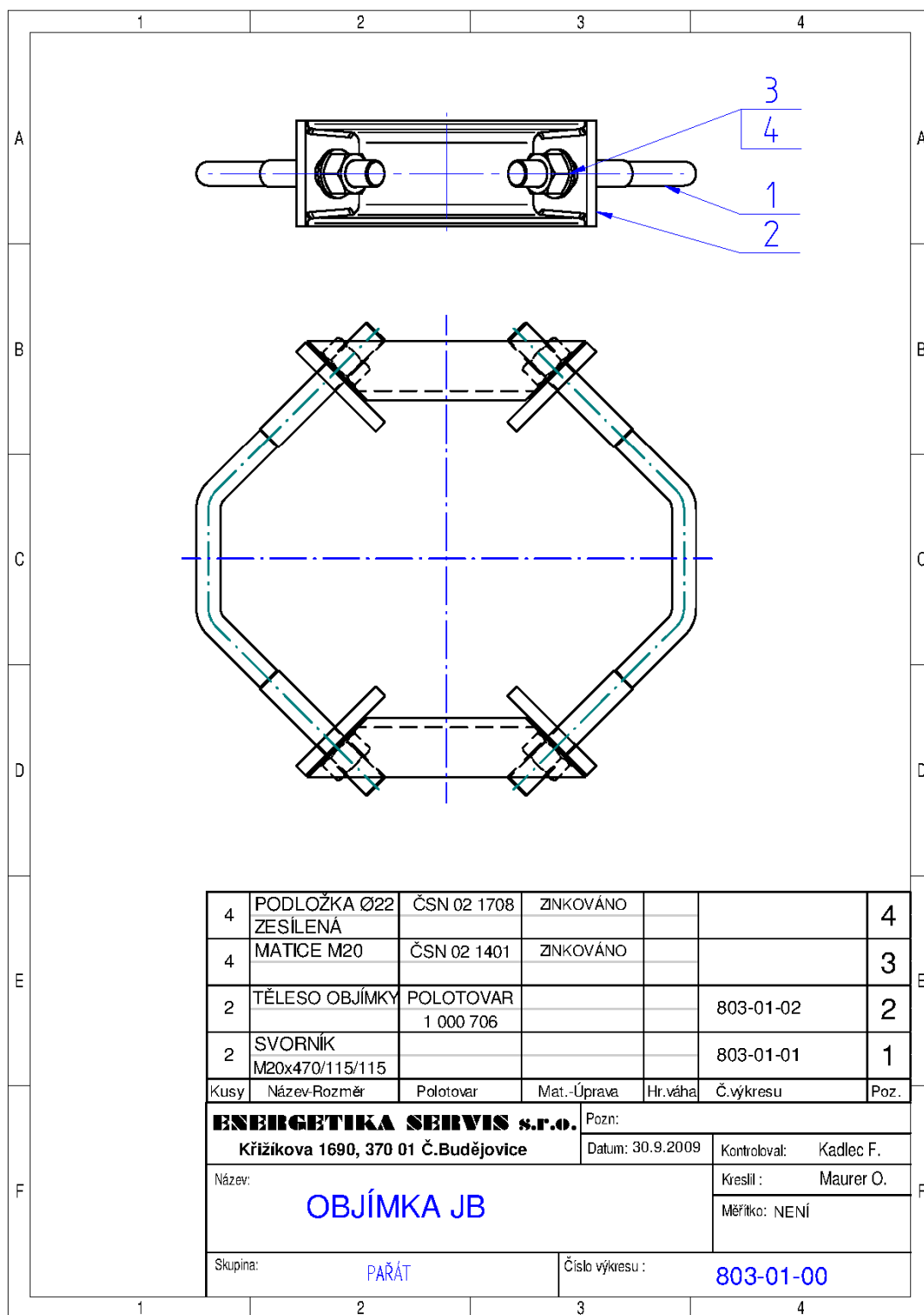
Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena



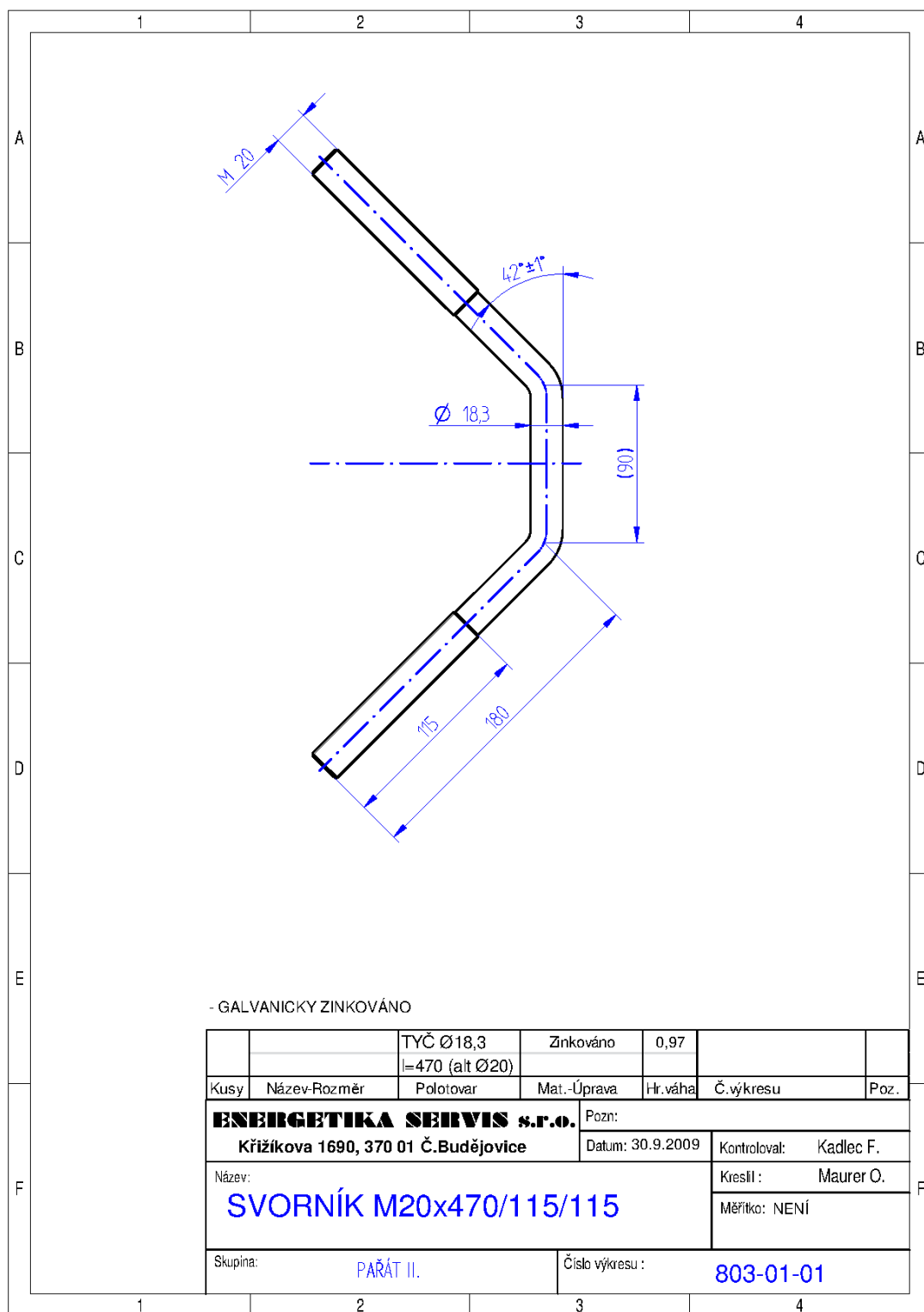
Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90



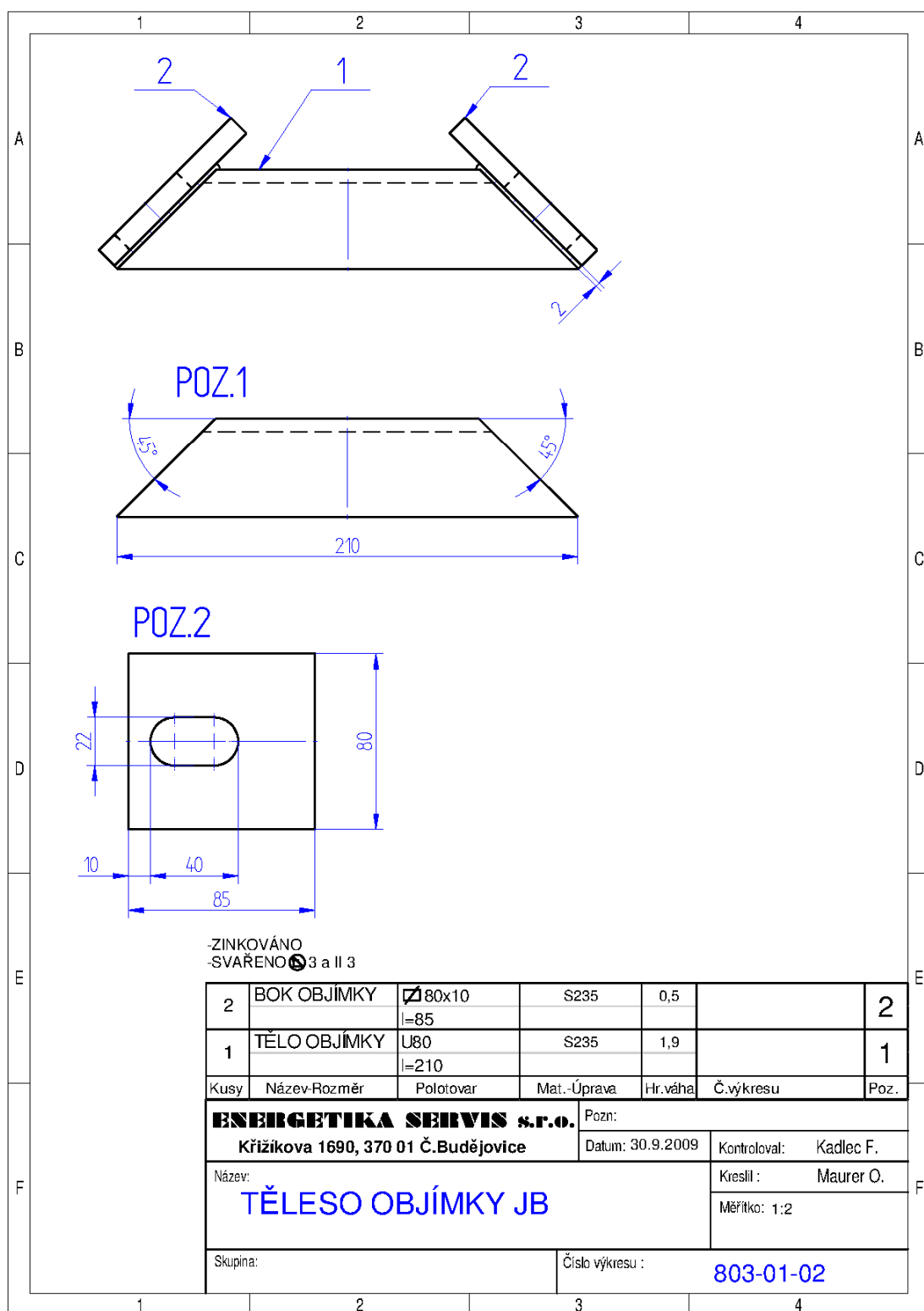
Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB



Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115



Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Tělo objímky JB



## Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

### ES CERTIFIKÁT SYSTÉMU ŘÍZENÍ VÝROBY

č. 1020 – CPD – 020-025934

V souladu se směrnicí Rady 89/106/EHS ze dne 21. prosince 1989 o sblížení zákonů a dalších právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích - CPD), ve znění pozdějších předpisů Rady Evropských společenství, se potvrzuje, že stavební výrobek:

**Konstrukční kovové stavební díly do třídy provedení EXC-2**  
v rozsahu: Výroba a dílenská montáž ocelových konstrukcí  
Přehled použitých metod svařování (dle ČSN EN ISO 4063): 135  
Skupina(y) základních materiálů (dle TNI CEN ISO/TR 15608): 1.2  
Odpovědní pracovníci svařčeského dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002

kteř uvedl na trh:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

a byly vyrobeny ve výrobě:  
**Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice**

Jsou u výrobce podrobovány počátečním zkouškám typu výrobku a řízení výroby a dále zkouškám vzorků odebraným v místě výroby podle předepsaného zkušebního plánu a že notifikovaná osoba č.

**1020 - Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.**  
provedla počáteční inspekci v místě výroby a systému řízení výroby a vykonává průběžný dohled, posuzování a schvalování systému řízení výroby.  
Tento certifikát prokazuje, že byla uplatněna všechna ustanovení týkající se posuzování systému řízení výroby popsaného v příloze Za normy

**EN 1090-1**

Tento certifikát byl poprvé vydán 02.05.2011 a zůstává v platnosti, pokud se podmínky stanovené v harmonizované technické specifikaci, na niž byl uveden odkaz, nebo výrobní podmínky v místě výroby či systém řízení výroby výrazně nezmění.

  
České Budějovice, 2. května 2011  
Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucího notifikované osoby

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

Certifikační orgán č. 3015 akreditovaný ČIA podle ČSN EN 45011  
osvědčení o akreditaci č. 573/2009  
Pobočka 0200 – České Budějovice  
vydává

### CERTIFIKÁT

č. 020-025937

kterým osvědčuje, že organizace:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690  
37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

zavedla a používá proces svařování, který odpovídá  
**ČSN EN ISO 3834-2**  
v následujícím rozsahu:

**Ocelové konstrukce - konzoly**

Proces(y) svařování a příbuzné procesy: 135  
dle ČSN EN ISO 4063  
Skupina(y) základních materiálů: 1.1, 1.2  
dle TNI CEN ISO/TR 15608  
Odpovědní pracovníci svařčeského dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002  
Výrobové normy: ČSN EN 1090-2, ČSN EN ISO 3834-1.2  
ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817,  
ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Dokumenty mající vztah na shodu s ČSN EN ISO 3834-2: ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817, ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace procesu svařování č. 020-025936 ze dne 17.05.2011 vydaného TZÚS Praha, s. p. - pobočkou České Budějovice, který se předává zadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu.

Platnost certifikátu do: 17.05.2014  
Osoba odpovědná za správnost tohoto certifikátu:

  
České Budějovice, 17.05.2011  
Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucí certifikačního orgánu

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 1807/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém managementu kvality v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 9001:2009**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

  
S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 573/2009 ze dne 24.07.2009

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 302/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém environmentálního managementu v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

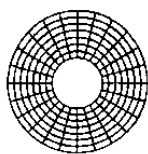
v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 14001:2005**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

  
S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 317/2008 ze dne 24.07.2008

Příloha č. 21 – Atest přidavného materiálu pro svařování



**TYSWELD®**



0035  
07

**WORK'S CERTIFICATE**

0035-CPD-C907  
DIN EN 13479 + DIN EN 14341

Purchaser / Besteller :

Your order Number / Ihre Bestellnummer:  
Manufacturer/ Hersteller: Y.N.H.  
Quantity delivered/ Liefermenge: 22000 kg

**PROFI SVAR s.r.o.**

Lidická 209, 370 07 Č. Budějovice  
IČO 260 88 088 DIČ CZ26088088  
Mob.: 603 372 320, 605 144 345 (1)

**Inspection Certificate 3.1**  
**EN 10204-3.1 type 3.1 according to EN 10204:2004**  
**(3.1 B according to EN 10204:1991)**

*typ*

Number of Certificate/Zertifikat Nummer: 620811

Standard classification/ Normbezeichnung EN 14341: G38 2 C G3Si1 AWS A 5.18-93: ER70S-6 DIN:8559:SG-2

| Executive Standard/<br>Normbezeichnung | Mfg Date/<br>Eingangs/ Bestelldatum | Date of Issue/<br>Ausgangs/ Absendedatum |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| GB/T8110-1995                          | 2011.6                              | 2011.6                                   |

| Trade Mark/<br>Handelsname                  | Diameter/<br>Abmessung | Lot-/Heat No.<br>Serien-/Chargen- Nr. | Weight/<br>Gewicht |
|---------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Welding Wire/ Drahtelektrode<br>Tysweld SG2 | Ø 1.0                  | 832000                                | 32400kg            |

| Chemical Compositions of the welding wire/ Chemischer Aufbau der Schweißleitungen |                             |                                             |                     |                             |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Element/<br>Element                                                               | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat | Element/<br>Element | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat |
| C                                                                                 | 0.06-0.15                   | 0.09                                        | Cr                  | --                          | --                                          |
| Mn                                                                                | 1.40-1.85                   | 1.54                                        | Ni                  | --                          | --                                          |
| Si                                                                                | 0.80-1.15                   | 0.96                                        | Mo                  | --                          | --                                          |
| S                                                                                 | ≤0.035                      | 0.013                                       | Cu                  | ≤0.50                       | 0.24                                        |
| P                                                                                 | ≤0.025                      | 0.012                                       | V                   | --                          | --                                          |

**Inspection Certificate 2.2 according to EN 10204:2004**

| Mechanical Properties of Deposited Metal/ Mechanischer Eigentum des Niedergesetzten Metalls |                             |                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Item/<br>Einzelheit                                                                         | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches Resultat |
| Tensile Strength/ Zugfestigkeit b (MPa)                                                     | ≥500                        | 538                                      |
| Yield Strength/ Dehngrenze 0.2 (MPa)                                                        | ≥420                        | 432                                      |
| Elongation/ Dehnung A5%                                                                     | ≥22                         | 28                                       |
| Impact Value/ Einfluß-Wert AKV(J)                                                           | ≥27                         | 56                                       |
| Impact Temp/ Einfluß Temp °C                                                                | - 29                        | - 29                                     |
| X-Ray/ X-Strahlen                                                                           | II                          | I                                        |

**Approvals / Zulassungen : TUV, DB-Zul.-Nr. 42.107.02, ABS**

This is to certify that the welding wire conforms with the above standards/ Diese Bescheinigung bestätigt die oben genannten Standards der Schweißleitungen

This certificate was issued by DP -equipment and does not require signature/  
Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift  
TIS 39-220 Pilzno ul. Blonia 5



Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

| Název materiálu              |                            |                                        | 100/25 AlFe | 110/22 AlFe |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------|-------------|
| Modul pružnosti              | $E_{\text{vyp}}$           | MPa                                    | 81 360      | 77 450      |
| Činitel tepelné roztažnosti  | $\alpha_{\text{vyp}}$      | $\cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$       | 17,742      | 18,363      |
| Měrná hmotnost               | $\chi_{\text{vyp}}$        | $\cdot 10^{-3}\text{N/m}^3\text{mm}^3$ | 37,630      | 35,943      |
| Průměr vodiče                | $d_{\text{vodič}}$         | mm                                     | 14,60       | 14,96       |
| Matematický průřez vodiče    | $s_{\text{vodič}}$         | $\text{mm}^2$                          | 124,70      | 132,30      |
| Poměr Al / Fe                | $K_{\text{poměr}}$         | -                                      | 4,05        | 5,01        |
| Počet drátů v laně           | -                          | ks                                     | 12+18/1+6   | 11+17/1+6   |
| Zaručená celková pevnost     | $P_{\text{zar}}$           | N                                      | 43 560      | 42 030      |
| Měrná celková pevnost        | $P_{\text{měr}}$           | MPa                                    | 349,318     | 317,687     |
| Maximální dovolené namáhání  | $\sigma_{\text{dov max}}$  | MPa                                    | 132,741     | 120,721     |
| Dovolené doporučené namáhání | $\sigma_{\text{dov 90\%}}$ | MPa                                    | 119,467     | 108,649     |
| Jmenovitý trvalý proud       | $I_{40/70}$                | A                                      | 311         | 328         |
| Maximální odpor při 20°C     | $R_{20}$                   | $\Omega/\text{km}$                     | 0,284       | 0,259       |
| Hmotnost                     | m                          | $\cdot 10^{-3}\text{ kg/m}$            | 478,50      | 484,90      |
| Měrná jednotka               |                            | -                                      | kg          |             |
| Materiálové číslo KZM        |                            |                                        | 50 003 749  | 50 033 762  |

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



**AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY  
A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY**  
organizační složka státu

**ODBORNÉ STANOVISKO**  
**z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky**

**Předmět odborného stanoviska**  
Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Výrobce**  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křižíkova 1690, 37001 České Budějovice

**Použité podklady**

- žádost o zpracování odborného stanoviska ze dne 29. 2. 2012
- protokol o zkoušce č. 9596/11 – dielektrická ochrana ptáků pro konzoly 35 kV
- rozměrový náčrt Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Odborné stanovisko**

Na konzolách typu Pařát byly prokázány ojedinělé úhyny větších druhů ptáků při pokusu o dosednutí na šikmá ramena konzoly. Toto riziko by mělo být eliminováno instalací speciálních bidel umístěných pod hlavní konzolou. Dosavadní monitoring účinnosti těchto bidel prokázal, že ptáci velikosti káněte skutečně bidla k dosedání využívají. U menších dravců (zejména poštolka obecná) byly zaznamenány pokusy o dosednutí na vodorovnou výztuhu mezi bočními a středním ramenem konzoly. U ptáků velikosti poštolky je však úraz proudem při tomto způsobu dosednutí díky tělesným proporcím prakticky vyloučen. Výrobce navrhl navíc v místě napojení bočních ramen konzoly umístění šikmých vzpěr, které plní funkci optické i funkční bariéry. Uvedená bariéra omezí náhodné pokusy o dosedání ptáků větších rozměrů, u kterých může v těchto případech dojít k úrazu. Podle současných znalostí dosedací bidlo tedy pravděpodobně nezajistí stoprocentní bezpečnost, ale společně s navrženými zábranami omezí riziko úrazů na minimální úroveň. Konzola Pařát s bidlem je pro ptáky jednoznačně bezpečnější, než tatáž konzola bez bidla a zábran. Navržené parametry bidla (průměr 63 mm, zdrsněná povrchová úprava, délka 130 cm) považujeme za optimální. V případě užití tohoto typu konzoly v praxi, doporučujeme bidly osazovat každý sloup a volit různé způsoby umístění tzn. navrhovanou alternativu č. 1 a 2, jelikož ptáci usedají na bidla podle směru větru, rušivých vlivů v okolí, výskytu možné kořisti apod.

**Závěr**

Snaha o zajištění ochrany ptáků na vedení vysokého napětí vychází ze zákonů č. 458/2000 Sb., v platném znění a zákona č. 114/1992 Sb., v platném znění. AOPK ČR byla Ministerstvem životního prostředí pověřena k provádění hodnocení výrobků a zařízení využívaných v distribuční síti z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky. Na základě současného poznání AOPK ČR souhlasí s instalací Konzoly pařát III-N-JB kat. č. 784-00 do distribučního zařízení. Navržené řešení lze považovat pro ptáky za jednoznačně bezpečnější, než ponechání konzoly bez ochranných prvků a dosedacího bidla. Předložený návrh považuje AOPK ČR za posun v zajištění ochrany ptáků na

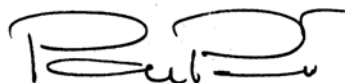
sloupech VN. Instalaci bidel doporučujeme na každý sloup s jejich alternativním umístěním dle předložené dokumentace. Vzhledem k tomu, že instalace dosedacího bidla nemůže patrně zajistit stoprocentní bezpečnost ptáků, bude jejich účinnost dále v provozu průběžně sledována a v případě potřeby bude doporučena úprava řešení. Výše uvedené předpoklady jsou platné pouze za podmínek existence a funkčnosti všech navržených prvků. Garanci kvality použitých materiálů a montážních postupů zajišťuje výrobce. Za správnost instalace odpovídá dodavatel stavby a příslušná energetická společnost.

Odborné stanovisko obsahuje 2 strany

Praha dne: 19. 06. 2012

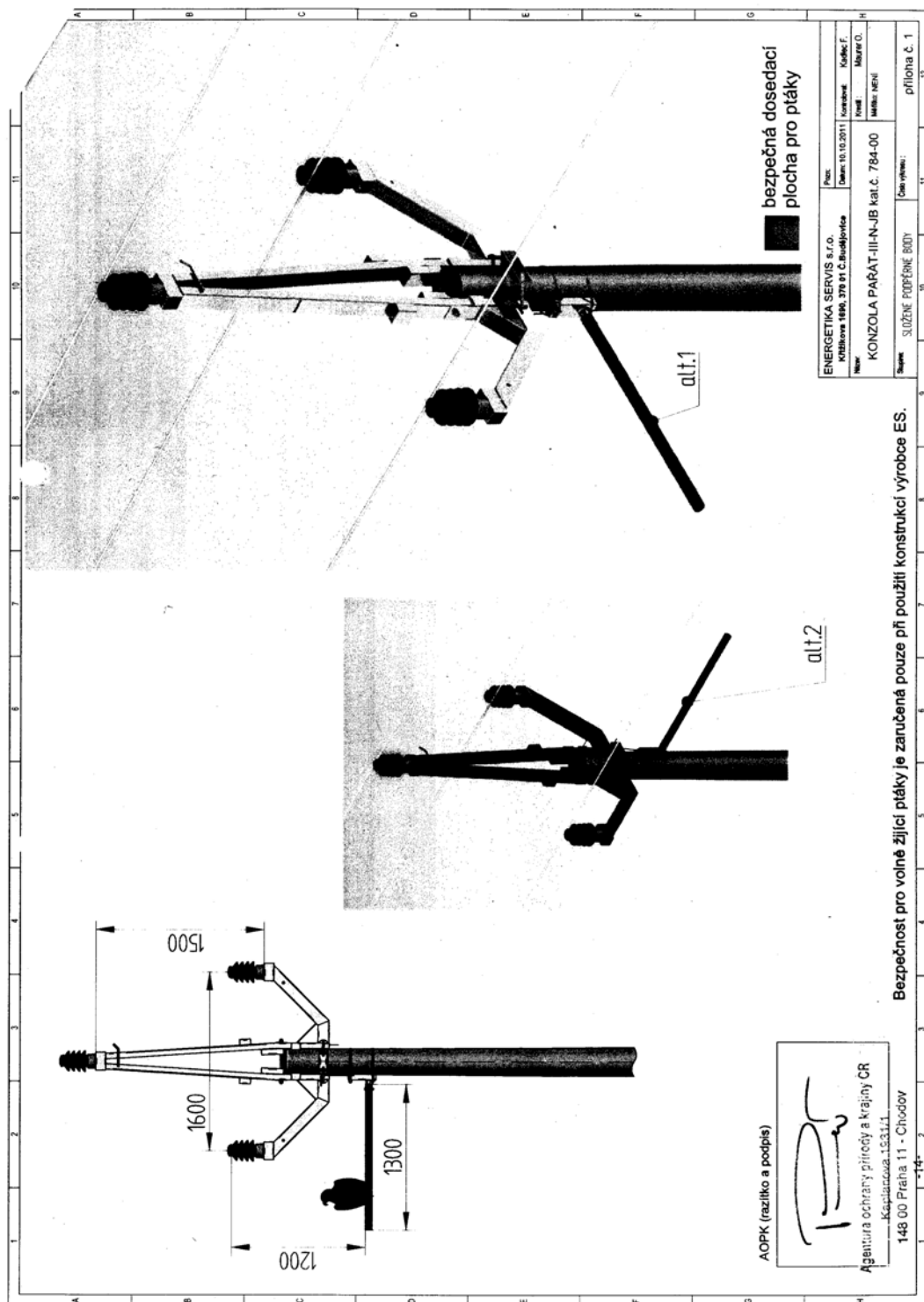
Vypracovali:  
Ing. Václav Hlaváč  
Ing. Helena Neuwirthová  
Ing. Martina Koubová

Schválil:



Ing. Pavel Pešout  
NÁMĚSTEK ŘEDITELE

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

Podpis

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical Univesity of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

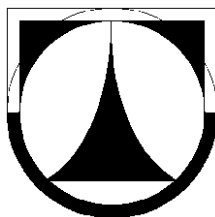
If I use my thesis of grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I play the expenses invested in the cretion of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

Signature

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



**Fakulta strojní**

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské technologie

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

### **Production and verification of top console for power grid of 22kV**

Ondřej Maurer

**KSP – SM – B43**

Vedoucí práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..

Konzultant:

#### **Rozsah práce a příloh:**

|                |    |
|----------------|----|
| Počet stran:   | 66 |
| Počet příloh:  | 25 |
| Počet tabulek: | 12 |
| Počet obrázků: | 44 |

24. 5. 2013

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

|                  |                                         |
|------------------|-----------------------------------------|
| Jméno a příjmení | <b>Ondřej Maurer</b>                    |
| Studijní program | <b>B2341 Strojírenství</b>              |
| Studijní obor    | <b>3911R018 Materiály a technologie</b> |
| zaměření         | <b>Strojírenská technologie</b>         |

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

## **Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly pro rozvodnou síť napětí 22 kV**

### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s konstrukčním řešením a způsobem výpočtů vrcholových konzol
2. Zpracujte přehled norem a předpisů, které se vztahují k metodice výpočtů.
3. Popište metodické postupy ověřování funkčnosti vrcholových konzoly ve firmě ENERGETIKA SERVIS s.r.o.
4. Na vybraném typu vrcholové konzoly realizujte pevnostní výpočet a ověření funkčnosti
5. Porovnejte různé metodické postupy výpočtů konzol





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu cca 30 stran
- grafické práce: grafy, tabulky

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

[1] Normy ČSN, EN, ISO

[2] Podklady firmy ENERGETIKA SERVIS s.r.o.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing Heinz Neumann, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld, CSc.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

---

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ)  
.Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



## ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 Strojírenství  
Student: Ondřej Maurer  
Téma práce: Výroba a ověření funkčnosti vrcholové konzoly  
pro rozvodnou síť napětí 22 kV

Production and verification of top console  
for power grid of 22kV

Číslo BP: KSP-SM-B43  
Vedoucí BP: doc. Ing Heinz Neumann, CSc..  
Konzultant:

### Abstrakt:

Téma bakalářské práce je zaměřeno na konstrukční návrh, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol VN v energetickém průmyslu. V teoretické části se shrnou veškeré zákonné i konstrukční požadavky. Dále teorie výpočtu pevnosti a metodika ověřování funkčnosti konzoly ve společnosti Energetika servis s.r.o. Experimentální část je věnována návrhu nové konzoly PAŘÁT-III-JB-N, na které se zrealizuje pevnostní výpočet a ověření funkčnosti na reálném prototypu.

### Abstract:

This thesis is focused on the design, strength calculation and methodology for verifying the functionality of top console in the energy industry. The theoretical part will summarize all the legal and structural requirements. Furthermore, the theory and methodology of calculation, testing the functionality of the console at Energy Services Ltd. Experimental section is devoted to design a new console PAŘÁT-III-JB-N, which implements the strength calculation and verification of the real prototype.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. Května 2013

.....

Ondřej Maurer

Tř. 5. Května 57,

37382 Včelná

## Poděkování:

Děkuji doc. Ing. Heinzovi Neumannovi, CSc., Františkovi Kadlecovi, Ing. Hlachovi a Ing. Dvořákové za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

# Obsah

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod .....                                                | 11 |
| 2     | Cíl práce .....                                           | 12 |
| 3     | Teoretická část .....                                     | 13 |
| 3.1   | Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR ..... | 13 |
| 3.1.1 | Podpěrné body venkovního vedení VN .....                  | 13 |
| 3.1.2 | Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN.....            | 15 |
| 3.1.3 | Vodiče pro VN.....                                        | 17 |
| 3.1.4 | Izolátory pro VN.....                                     | 18 |
| 3.1.5 | Typy vrcholových konzol VN společnosti ES .....           | 20 |
| 3.1.6 | Konzola PAŘÁT-II-JB-N .....                               | 26 |
| 3.2   | Navrhování konzol.....                                    | 28 |
| 3.2.1 | Zákonné požadavky.....                                    | 28 |
| 3.2.2 | Elektrické požadavky .....                                | 30 |
| 3.2.3 | Konstrukční požadavky.....                                | 32 |
| 3.2.4 | Technologie výroby.....                                   | 39 |
| 3.3   | Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N .....            | 40 |
| 3.4   | Výpočet pevnosti konzoly VN .....                         | 42 |
| 3.4.1 | Normy a předpisy pro výpočet pevnosti.....                | 42 |
| 3.4.2 | Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce.....    | 42 |
| 3.4.3 | Návrhová únosnost svarových spojů.....                    | 43 |
| 3.4.4 | Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation .....         | 44 |
| 3.5   | Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES .....     | 46 |
| 3.5.1 | Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030 .....      | 46 |

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 4     | Experimentální část .....                              | 50 |
| 4.1   | Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                      | 50 |
| 4.2   | Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation.....         | 53 |
| 4.3   | Výpočet návrhové únosnosti .....                       | 60 |
| 4.3.1 | Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR .....      | 60 |
| 4.3.2 | Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru.....        | 61 |
| 4.4   | Ověření funkčnosti.....                                | 61 |
| 4.4.1 | Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti.....             | 61 |
| 4.4.2 | Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena .....      | 62 |
| 4.4.3 | Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena .....    | 64 |
| 5     | Vyhodnocení výsledků .....                             | 66 |
| 5.1   | Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy .....           | 66 |
| 5.2   | Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti..... | 67 |
| 5.3   | Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N.....                | 68 |
| 6     | Závěr .....                                            | 69 |

# Seznam použitých zkratek a symbolů

|            |                    |                                                                                                                                   |
|------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ES         | /                  | výrobní společnost Energetika servis s.r.o.                                                                                       |
| PB         | /                  | podpěrný bod                                                                                                                      |
| JB         | /                  | jednoduchý betonový sloup                                                                                                         |
| DB         | /                  | dvojitý betonový sloup                                                                                                            |
| PS         | /                  | příhradový stožár                                                                                                                 |
| N          | /                  | nosná konzola/podpěrný bod                                                                                                        |
| AlFe       | /                  | holé kombinované lano z duše (Fe) a obalu (Al)                                                                                    |
| VN         | /                  | vysoké napětí                                                                                                                     |
| MKP        | /                  | metoda konečných prvků                                                                                                            |
| $U_n$      | [kV]               | jmenovité napětí sítě                                                                                                             |
| $U_s$      | [kV]               | nejvyšší napětí sítě                                                                                                              |
| $b_{emp}$  | [m]                | min. vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí                                                                        |
| $f$        | [m]                | větší z průhybů vodičů                                                                                                            |
| $L_{ins}$  | [m]                | svislá délka nosného izolátorového závěsu                                                                                         |
| $D_{pp}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič                                                                                   |
| $D_{el}$   | [m]                | nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objekty na potenciálu země                                                                    |
| $c_{emp}$  | [-]                | konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností                                                                                     |
| $k_{emp}$  | [-]                | součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce.                                           |
| $d$        | [m]                | průměr neomrzlého vodiče                                                                                                          |
| $g_c$      | $[N \cdot m^{-1}]$ | tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky                                                                             |
| $\delta$   | [°]                | úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí |
| $\sigma_H$ | [MPa]              | vodorovné namáhání ve vodiči                                                                                                      |
| $E$        | [MPa]              | modul pružnosti vodiče                                                                                                            |
| $\nu$      | [°C]               | teplota okolí                                                                                                                     |
| $\alpha$   | [-]                | součinitel tepelné roztažnosti vodiče                                                                                             |

|                     |                                        |                                                                          |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $a$                 | [m]                                    | délka rozpětí (vzdálenost mezi podpěrnými body)                          |
| $\gamma$            | [N.mm <sup>-2</sup> .m <sup>-1</sup> ] | měrná tíha vodiče                                                        |
| $z$                 | [-]                                    | přetížení vodiče námrazou                                                |
| $F_1$               | [kN]                                   | síla způsobená tahem vodiče, ve směru vedení                             |
| $F_2$               | [kN]                                   | síla působící kolmo na směr vedení                                       |
| $F_3$               | [kN]                                   | síla způsobená tíhou vodiče, ve směru zemské gravitace                   |
| $F_v$               | [kN]                                   | síla výsledná (vektorový součet sil $F_1$ , $F_2$ a $F_3$ )              |
| $I_R$               | [N/m]                                  | referenční zatížení námrazou na jednotku délky                           |
| $q_h$               | [Pa]                                   | dynamický tlak větru ve výšce $h$ nad zemí                               |
| $G_q$               | [-]                                    | poryvový součinitel                                                      |
| $G_c$               | [-]                                    | součinitel rozpětí                                                       |
| $C_c$               | [-]                                    | součinitel aerodynamického odporu vodiče                                 |
| $\beta$             | [°]                                    | úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče                            |
| $R_d$               | [MPa]                                  | návrhová únosnost základního materiálu                                   |
| $R_k$               | [MPa]                                  | dolní mez kluzu základního materiálu                                     |
| $\gamma_M$          | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti materiálu                                 |
| $\gamma_{M2}$       | [-]                                    | dílčí součinitel spolehlivosti svaru                                     |
| $f_u$               | [MPa]                                  | jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu         |
| $\beta_W$           | [-]                                    | korelační součinitel podle tabulky                                       |
| $f_{vw,d}$          | [MPa]                                  | návrhová pevnost koutového svaru ve smyku                                |
| $\gamma_{exp}$      | [-]                                    | součinitel spolehlivosti zkoušení pro ocelové konstrukce                 |
| $\lambda_I$         | [-]                                    | součinitel přetvoření pro ocelové konstrukce                             |
| $G_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající stálému provoz. zatížení                  |
| $V_s$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající nahodilému provoz. zatížení               |
| $V_d$               | [volitelná]                            | zkušební zatížení odpovídající extrémnímu nahodilému provoznímu zatížení |
| $\sigma_{max}$      | [MPa]                                  | maximální naměřené napětí von Mises (metoda HM)                          |
| $\sigma_{dov\ max}$ | [MPa]                                  | maximální dovolené namáhání vodiče (stanovené výrobcem)                  |



# 1 Úvod

Iniciátorem této bakalářské práce je výrobce vrcholových konzol společnost Energetika servis s.r.o. (dále jen ES), která přijala od provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o. nový požadavek na změnu geometrických parametrů souboru konzol PAŘÁT-II na betonové sloupy. V této práci byl zadán úkol, navrhnout a ověřit funkčnost nové konzoly vybraného typu PAŘÁT-III-JB-N, která nahradí stávající konzolu PAŘÁT-II-JB-N. Téma je proto zaměřené na konstrukční řešení, výpočet pevnosti a metodiku ověřování funkčnosti vrcholových konzol vysokého napětí.

Z obecného hlediska je vrcholová konzola svařovaná ocelová konstrukce, která se montuje na hlavy stožáru za účelem podepření vodičů nadzemní linky vysokého napětí v patřičné mezifázové vzdálenosti. Z legislativního hlediska je vrcholová konzola klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, z důvodu trvalého zabudování do inženýrských staveb.

Tato práce se skládá ze dvou hlavních částí, teoretické a experimentální. V teoretické části se popisují typy konzol, jejich aplikace a funkce. Speciálně je rozebrána konzola PAŘÁT-II-JB-N, která se bude inovovat. Dále se provede rozbor zákonných a konstrukčních požadavků, posléze provozní zatížení a výpočet pevnosti. V kapitole výpočtů se popíše mj. i pevnostní analýza Simulation (na bázi MKP) softwaru Solid Edge, kterou výrobní společnost ES nedávno implementovala. ES ověřuje funkčnost a pevnost konzol zatěžovacími zkouškami únosnosti. Postup zatěžovacích zkoušek bude uveden v poslední kapitole teoretické části.

Experimentální část je zaměřena na samotný návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N, realizaci pevnostní analýzy Simulation a vypracování pevnostního výpočtu. V další fázi je reálně zhotovený prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N podroben zatěžovací zkoušce únosnosti, podle stávající metodiky ověřování funkčnosti společnosti ES.

Závěrem se vyhodnotí výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu, výsledky pevnostní analýzy a funkčnost nové konzoly. Pokud analýza Simulation prokáže objektivní výsledky, které se budou podobat reálnému chování konstrukce, může se stát do budoucna hlavním, moderním a efektivním nástrojem při dimenzování konzol ve společnosti ES.

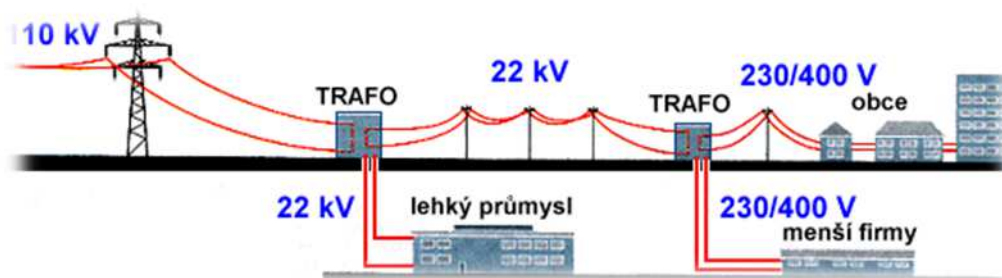
## 2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její funkčnost resp. únosnost. Únosnost konzoly se ověří jak pevnostní analýzou v softwaru Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Distribuční síť elektrického venkovního vedení v ČR

V elektrárnách se vyrábí trojfázový střídavý proud o napětí velikosti několika tisíců voltů. Kvůli prvotní potřebě přenosu elektřiny na velké vzdálenosti, při nízkých ztrátách, se toto napětí ještě v elektrárně transformuje na velmi vysoké napětí (VVN) o velikosti 400kV, 220kV nebo 110kV. Rozvodné nadzemní sítě VVN se proto říká přenosová soustava. Přenosová soustava končí v transformačních stanicích, kde se VVN transformuje na vysoké napětí (VN) o velikosti 110kV. Část elektrické energie se přivádí linkami venkovního vedení přímo do velkých průmyslových podniků a do měnících elektrifikovaných železničních tratí. Zbývající část putuje do transformačních stanic, kde se napětí dál transformuje na vysoké napětí o velikosti 22kV, nebo 35kV. Sítě VN se proto nazývají distribuční soustavou. K poslední transformaci na nízké napětí o velikosti 230V a 400V dochází v trafostanicích samotných podniků, obcí a městských čtvrtí [11].



Obr. 1: Schéma rozvodu elektrické energie [11]

Elektrické venkovní vedení VN distribuční soustavy je tedy sít' linek, tvořených z různých typů podpěrných bodů, na jejichž vrcholcích jsou upnuty vrcholové konzoly s izolátory nesoucí vodiče. Aby bylo možné identifikovat funkce a provozní zatížení vrcholových konzol, je nutné se nejdříve seznámit s typologií podpěrných bodů.

#### 3.1.1 Podpěrné body venkovního vedení VN

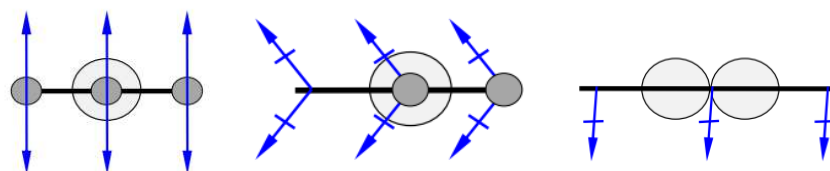
Podpěrný bod je obecně stožár, budova a vše co zajišťuje stálou podporu vodičů nad zemí. Každý podpěrný bod se skládá ze stožáru (nebo budovy), základu, podpěry (vrcholové konzoly), izolátorů a armatur. Podle účelu se podpěrné body dělí následovně [1]:

- Nosný podpěrný bod (N) - je vybavený podpěrnými izolátory nebo nosnými izolátorovými závěsy v přímé trase vedení
- Rohový podpěrný bod (R) - je vybavený podpěrnými izolátory, nosnými, nebo kotevními izolátorovými závěsy použitý v lomovém bodu trasy vedení, nebo vybavený kotevními závěsy v přímé trase vedení, pokud současně neslouží jako výztužný podpěrný bod
- Výztužný podpěrný bod (V) - je v přímé trase nebo lomu trasy vedení, sloužící současně jako pevný bod pro omezení lavinového šíření poruchy
- Koncový podpěrný bod (Ko) - je vybavený kotevními závěsy a je zatížen celkovým jednostranným tahem vodičů
- Odbočný podpěrný bod (O) - je bod, ze kterého vedou jednotlivá vedení alespoň třemi různými směry
- Křižovatkový podpěrný bod (K) - ohraničuje ve vedení jednotlivá rozpětí nebo kotevní úsek, kterým přechází přes koridor železničních drah
- Podpěrné body kombinované - slouží současně více účelům a značí se například KV, KR, RV, OV

Podle účelu podpěrného bodu se významně liší jeho provozní zatížení. Proto existuje celá řada stožárů, ke kterým se přiřazují konzoly patřičného tvaru a pevnosti.



Obr. 2: Linka venkovního vedení VN 22kV – systém konzol PAŘÁT-II na betonových sloupech (u obce Dolní Věžnice, okres Havlíkův Brod)



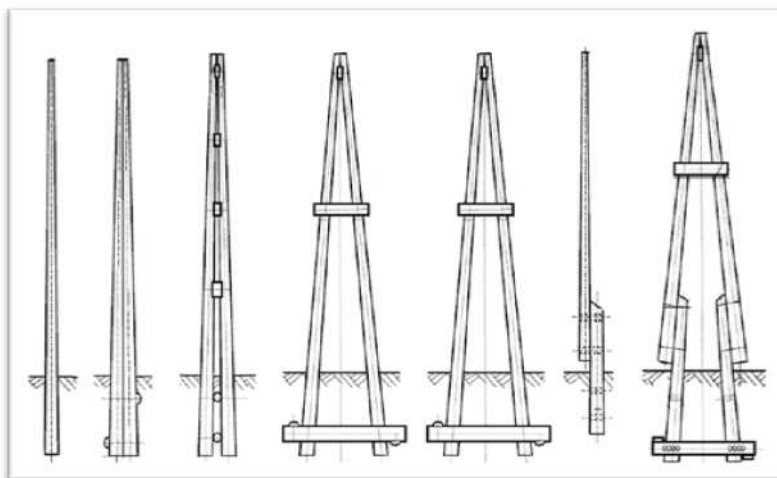
Obr. 3: Půdorysné schéma základních typů podpěrných bodů. Nosný PB (vlevo), rohový PB (uprostřed), koncový PB (vpravo)

### 3.1.2 Stožáry pro výstavbu venkovního vedení VN

Stožár podpěrného bodu je obecně prvek štíhlého tvaru, jehož spodní část (pata) je vetknutá do země a vrchní volná část (hlava) je určena pro upnutí konzol. Pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR se používají převážně tyto druhy stožárů:

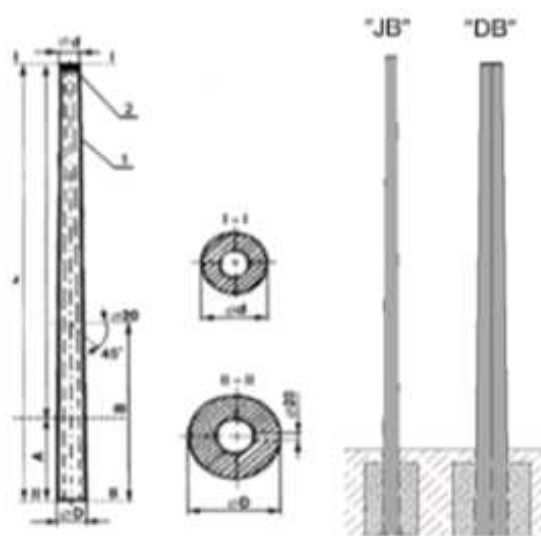
- Dřevěné sloupy
- Betonové sloupy
- Příhradové stožáry

Dřevěné sloupy se aplikují především v lesních průsecích, chráněných krajinách oblastí a v členitém terénu, kam se nedostane těžká technika. Jejich cena je v porovnání s ostatními druhy stožárů výrazně nižší, přitom životnost může dosáhnout až příznivých padesáti let. Životnost sloupů zapaštěných přímo do země je nepříznivě ovlivněna hnilobou, kterou lze zamezit vhodnou impregnací, nebo umístěním sloupů na železobetonové patky. Dřevěné sloupy se vyrábí v ČR z rostlých jehličnatých stromů (smrk, borovice a jedle) o průměru hlavy od 16 do 210 [cm], délka dosahuje 8 až 15 m. Aktuálně se rozlišuje několik sloupových provedení, které unesou namáhání v hodnotách od 5 do 15 kN viz obr. 4.



Obr. 4: Typy dřevěných stožárů: a) J, b) D, c) U, d) Š, e) A, f) J<sub>p</sub>, g) Š<sub>p</sub> nebo A<sub>p</sub> (p – na železobetonových patkách)

Betonové sloupy jsou nejrozšířenějšími stožáry podpěrných bodů pro výstavbu venkovního vedení VN v ČR. Cena je vyšší než u dřevěných sloupů, zato větší dovolené vrcholové zatížení od 1,5 do 25 kN umožňuje projektantům prodloužit pole mezi podpěrnými body za určitých podmínek až na 180 m. Sloupy jsou v celé délce konické a obsahují střední průchozí otvor (obr. 5). Vyrábí se opět v různých odstupňovaných délkách od 9 do 15 m a průměrech hlavy 180 – 225 mm. Výroba probíhá odstředivou technologií ve speciálních nedělených formách s předem uloženou předepjatou ocelovou výztuží, která se zalévá betonovou směsí. Pro urychlení výrobního procesu se forma vyhřívá. Betonové sloupy se staví v jednoduchém (JB), nebo dvojitém (DB) provedení, s nutností provedení betonového základu. Na stavbě se dovybavují plastovými čepicemi, aby se zamezilo vnikání dešťové vody do středových otvorů.



Obr. 5: Typy betonových sloupů

Příhradové stožáry venkovního vedení VN (dále jen PS) se využijí při vzniku velkého vrcholového zatížení, nebo při potřebě dostat vodiče vysoko nad terén. Vzhledem k vysoké ceně se aplikují pouze je-li to nezbytné. Výška PS dosahuje až 24 m a dovolené zatížení ve vrcholu od 20 do 80 kN. Příhradové stožáry novější výroby se skládají ze dvou nebo tří dílů, které se montují šroubovými spoji. Spodní díly jsou konické, kdežto vrchní díl má konstantní šířku čtvercového průřezu pro snazší upevnění vrcholových konzol. Jendotlivé díly jsou svařené ze čtyř rohových stojin ve tvaru profilu L, které se vyztužují po obvodu diagonálami. PS je rovněž vetknut do betonového základu.

### 3.1.3 Vodiče pro VN

Pro výstavbu venkovního vedení se používají v ČR nejčastěji tyto druhy vodičů:

- Holé kombinované lano (AlFe)
- Jednoduchý izolovaný vodič (JIV)
- Kabel VN (závěsný / samonosný)

Holé kombinované lano je používáno ve venkovních vedeních vysokého napětí pro přenos elektrické energie, kde je třeba při dobré vodivosti i velké pevnosti. Je použitelné ve všech námrazových oblastech a pásmech znečištění. Odolává běžným povětrnostním podmínkám, ale dlouhodobé působení ovzduší znečištěného chemickými látkami vodič poškozuje. Značení udává základní informace o výrobku a souvisí s podrobným popisem uvedeným v katalogu výrobků. Konstrukce lana je soustředná. Duše ze slaněných ocelových drátů je šroubovitě ovinuta vrstvami z hliníkových drátů. Kombinovaná hliníková lana s ocelovou duší (AlFe lana) se vyrábějí podle požadovaného průřezu s jednou až čtyřmi vrstvami hliníkových drátů. Hliníkové dráty se vyrábějí z elektro-vodivého hliníku (Al 99,5 %) v průměrech od 1,6 do 4,0 mm. Ocelové dráty jsou chráněny proti korozi žárovým zinkováním [12].

Při výrobě jsou jednotlivé vrstvy stáčeny v opačném směru, aby se zabránilo samovolnému rozplétání. E.ON ČR s.r.o. používá nejčastěji pro venkovní vedení distribuční soustavy 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe, nebo 110/22 AlFe. Typové označení **42/7 AlFe** znamená [12]:

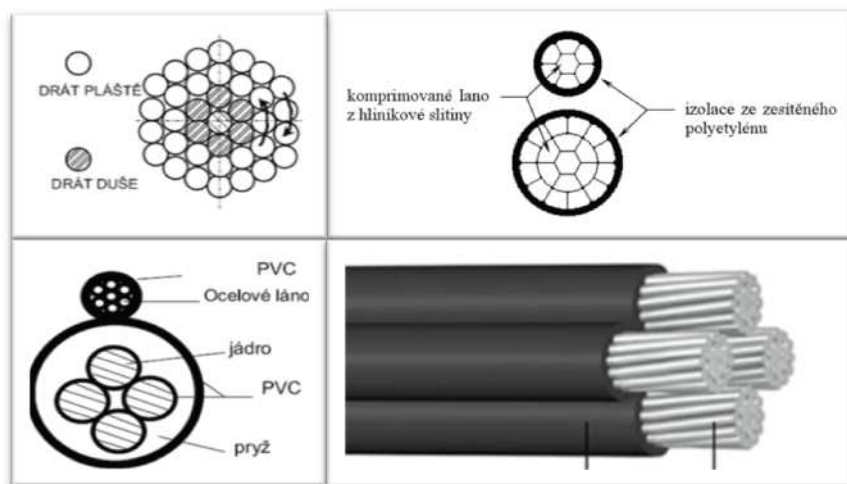
**42** jmenovitý průřez hliníkového pláště [mm<sup>2</sup>]

**7** jmenovitý průřez ocelové duše [mm<sup>2</sup>]

**AlFe** kombinace materiálů (hliník a železo)

Jednoduché izolované vodiče jsou určeny především do lesních průseků, ale lze jimi rovněž řešit těžko průchodná území zástavby s malými vzdálenostmi od budov a konstrukcí. JIV je tvořen prostým komprimovaným lanem s jednou vrstvou izolace. Lano je vyrobeno z materiálu známého pod obchodním názvem Aldrey, což je slitina hliníku (Al), magnézia (Mg) a křemíku (Si). Po stočení je lano průběžně lisováno (komprimováno), aby se zmenšil volný prostor mezi slaněnými dráty. Vrstva izolace v tloušťce 2,3 mm je ze zesíťovaného polyetylénu (XLPE). Vodiče opatřené touto izolací se považují za vodiče se základní izolací a musí se proto upevňovat na izolátory.

Venkovní vedení s JIV lze budovat ve vodorovném (vedle sebe) nebo svislém (pod sebou) uspořádání fázových vodičů jednoho systému vedení. Z praktických důvodů bez ohledu na průhyb a délku rozpětí je stanovena mezifázová vzdálenost na 0,5 m. Při styku fázových vodičů nedojde k přeskoku nebo zkratu. Nejznámějším výrobcem těchto vodičů je společnost NOKIA (Finsko) [12].



Obr. 7: Druhy vodičů - AIFe (nahore vlevo), JIV (nahore vpravo), závěsný kabel AYKYz (dole vlevo), samonosný kabel AES (dole vpravo) [12].

Samonosné kabely typu AES jsou složeny ze stočených žil, které obsahují hliníkové jádro a vrstvu izolace z PE, odolnou proti UV záření. Kabel AYKYz je tvořen z izolovaných hliníkových žil, stočených do duše kabelu a lana z ocelových pozinkovaných drátů. Duše je uložena v obalu vyplněném gumou. Ocelové lano a duši chrání ještě plášť z PVC [12].

### 3.1.4 Izolátory pro VN

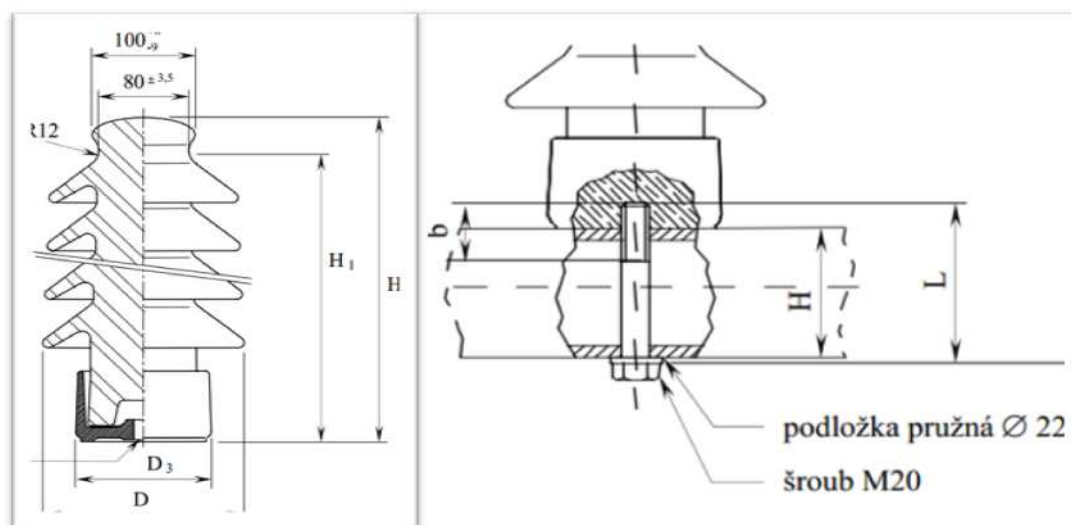
Izolátory jsou nezbytným příslušenstvím pro izolované připevnění živých vodičů ke konzolám vysokého napětí. V ČR se nejčastěji používají tyto typy izolátorů:

- Podpěrné izolátory
- Závěsné (kotevní, tahové) izolátory

Podpěrný izolátor (obr. 8) se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné konzoly v rovných úsecích vedení, na rohové konzoly pokud není překročeno jeho dovolené namáhání a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu [12].



Charakteristické pro tento typ je, že má nejkratší průraznou dráhu v tuhém izolačním materiálu rovnou nejméně polovině délky nejkratší přeskokové vzdálenosti vzduchem vně izolačního tělesa. Na výrobu izolátorů se nejčastěji používá keramika a různých kompozitů. Podpěrný izolátor se skládá z izolačního podpěrného dřívku a z patní armatury. Tvar hlavy dřívku určuje způsob upevnění vodiče k izolátoru, výběr armatury a způsob upevnění podpěrného izolátoru ke konstrukci podpěrného bodu. Podle tvaru hlavy dřívku se dělí na VPA a VPAv [12].



Obr. 8: Podpěrný keramický izolátor typu VPA (výrobce - Elektroporcelán a.s., Louny) [12].

Závěsný izolátor se používá pro izolované upevnění živých částí elektrického vedení VN k nosné konstrukci podpěrného bodu. Umisťuje se na nosné body v rovných úsecích vedení, na rohové body, na kotevní body a na ostatní místa vhodná pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci podpěrného bodu. Izolátor je typu A - neprůrazný, je vyroben podle technických podmínek výrobce Reliable Ohio, USA. Jádrem dřívku je ze skelného vlákna navinuté mnoha závitů do smyčky tvaru „∞“ která je upravena pro spoj oko a vidlice přímé s čepem. Do otvorů ve smyčce jsou vsazena galvanicky pokovená pouzdra pro čepy. Ve formě je na smyčku nalisován plášť včetně stříšek ze silikonové pryže. Jejich tvar umožňuje nerozlišovat způsob zavěšení. Povrch izolátoru je šedý, hladký, matně lesklý a souvislý. Závěsný izolátor se zapřáhne ke konstrukci pomocí různých kotevních svorek a klouby, se kterými tvoří tzv. „kotevního řetězce“ viz obrázek č. 9 a 10 [12].

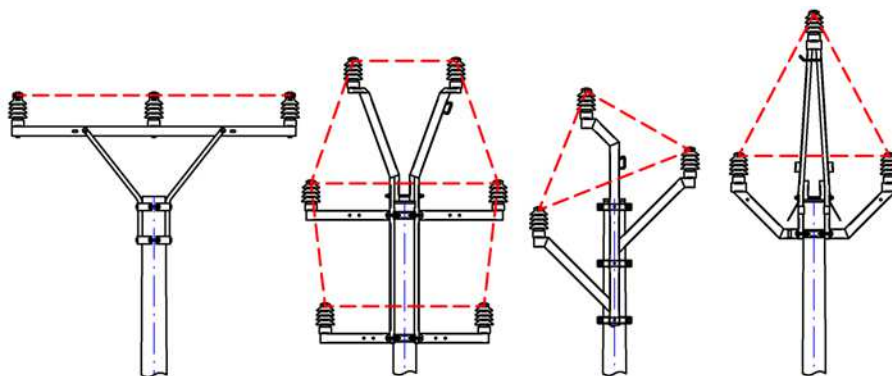


Rozdělení konzol podle účelu podpěrného bodu:

- Nosná (N) – pro účely nosného podpěrného bodu
- Rohová (R) – pro účely rohového a výztužného podpěrného bodu
- Koncová (K) – pro účely koncového podpěrného bodu

Rozdělení konzol podle druhu vodičů a jejich geometrického uspořádání:

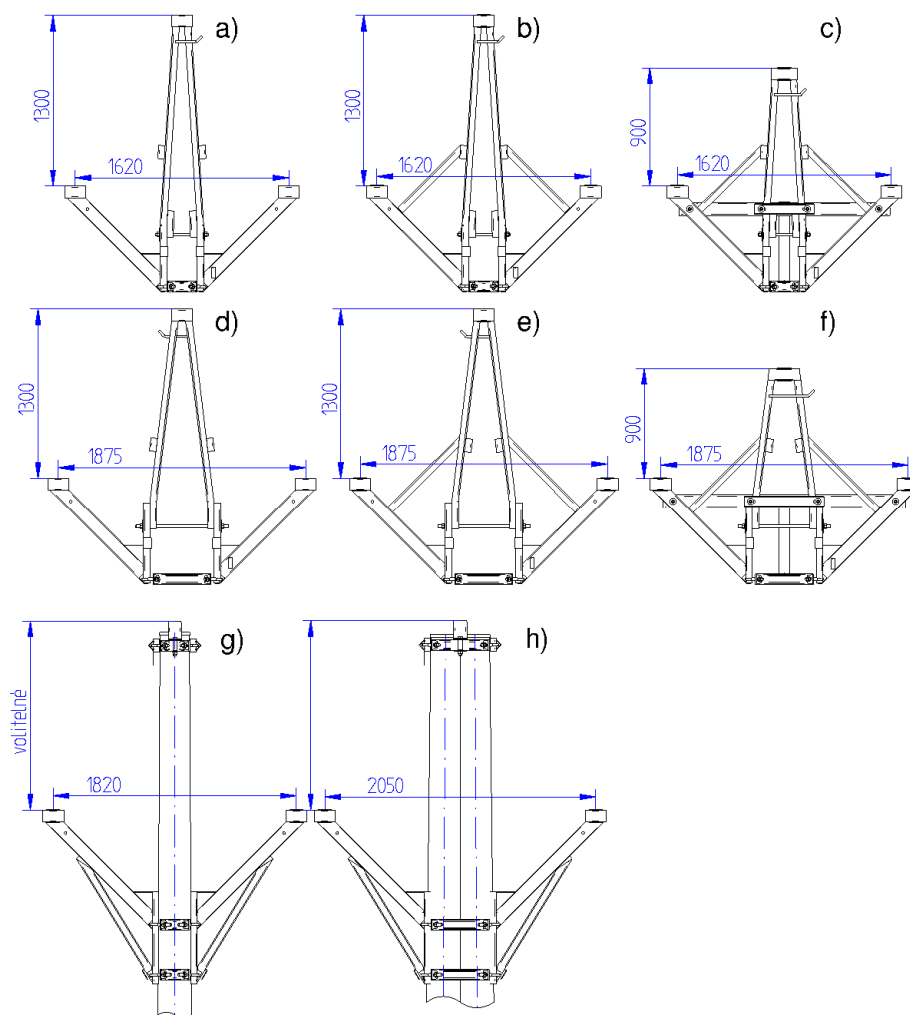
- Pro holá kombinovaná lana (AlFe), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Pařát (trojúhelníkové)
  - Šestivodič
- Pro jednoduché izolované vodiče (IZVE), ty se dále člení podle geometrického uspořádání vodičů:
  - Rovinné
  - Vertikální
  - Šestivodič



Obr. 11: Typy konzol podle rozměrového uspořádání holých vodičů (AlFe): Zleva: rovinná konzola, šestivodič, stromeček a pařát (na obrázcích jsou nosné konzoly na JB)

Snahou výrobní společnost ES je navrhovat konzoly tak, aby se daly použít v jednom zvoleném uspořádání vodičů na všechny typy betonových a dřevěných stožárů, pro základní účely podpěrných bodů. Takto nastavenou koncepcí vznikají tzv. komplexní „systémy konzol“. Příklad nejpoužívanějšího systému v ČR na betonové sloupy (pro vodiče AlFe) je na obrázku č. 12.

Konzoly PAŘÁT-II lze montovat pro účely nosného, rohového i koncového podpěrného bodu a to jak na betonové sloupy v provedení JB i DB o průměru hlavy 180 – 250 [mm]. Výhody těchto konzol spočívají v jednoduché montáži pomocí svorníku a stavitelných třmenových objímek. Konzoly jsou symetrické, montují se přesně do os sloupů, tím je přenášeno zatížení do vrcholu sloupu příznivěji.



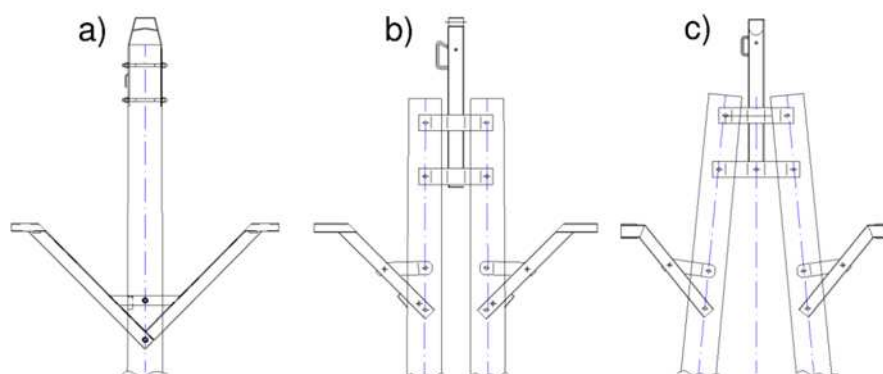
Obr. 12: Systém konzol PARÁT-II na betonové sloupy: a) JB-N, b) JB-R, c) JB-K, d) DB-N, e) DB-R, f) DB-K, g) JB-40kN h) DB-40kN

Venkovní vedení si daleko lépe počíná v trojúhelníkovém uspořádání vodičů s pády stromů na vedení. Tíha nahnutého stromu se většinou rozloží mezi dva vodiče (krajní a horní) a vodiče se většinou nepřetrhnou. Trojúhelníkové uspořádání vodičů je oproti rovinnému výhodné i proto, že je štíhlejší a při respektování dovolených vzdáleností od objektů se snáze vejde do nahuštěné zástavby. Dále se snáze provádí údržba izolátorů, protože na ně montér dosáhne přímo z konzoly. Konzoly jsou konstruovány vhodnými profily opatřené různými otvory a navařenými kapsami pro montáž doplňujících prvků, jako jsou: montážní stupačky, montážní kladky, kotvy pro uchycení montéra při práci ve výškách, boční nosníky pro podepření svodových vodičů, praporce pro aplikaci bezpečnostního závěsu apod. Konzoly PARÁT vykazaly i mírné snížení úrazů a úhynů volně žijícího ptactva zásahem elektrického proudu.



Obr. 13: Konzola PAŘÁT-II-DB-N (vlevo), konzola PAŘÁT-II-DB-R (vpravo) [7]

Konzoly typu PAŘÁT jsou ve stejném typovém rozsahu zkonstruovány i pro dřevěné stožáry (systém konzol PAŘÁT-DS) viz ukázka na obrázku č. 14.



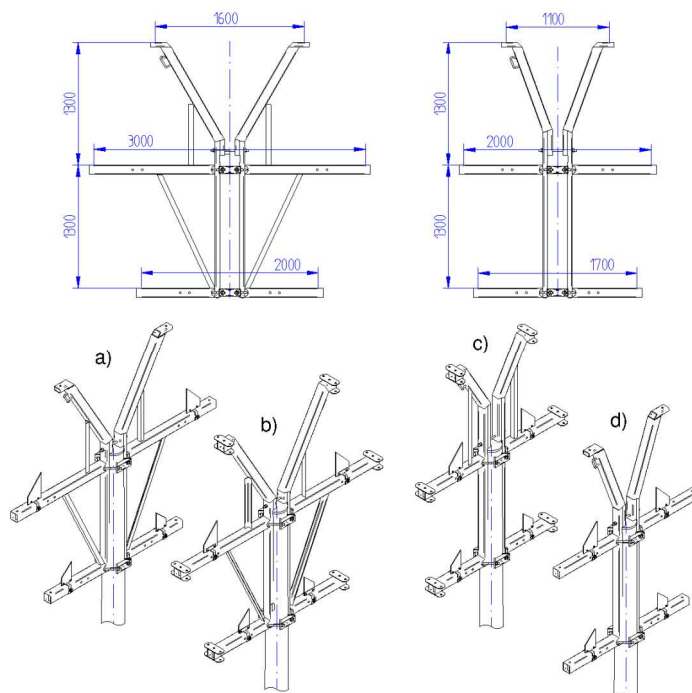
Obr. 14: Konzoly systému PAŘÁT na dřevěné sloupy: a) DS-N-J, b) DS-N-U, c) DS-K-A

Konzoly PAŘÁT se dimenzují na odolnost vůči provoznímu zatížení vztaženému k jednomu vodiči linky, na které poukazuje tabulka č. 1. Provozní zatížení je podrobněji vysvětleno v kapitole 3.3.

tab. 1: Dovolené provozní zatížení konzol jedním vodičem, stanovené výrobcem [7].

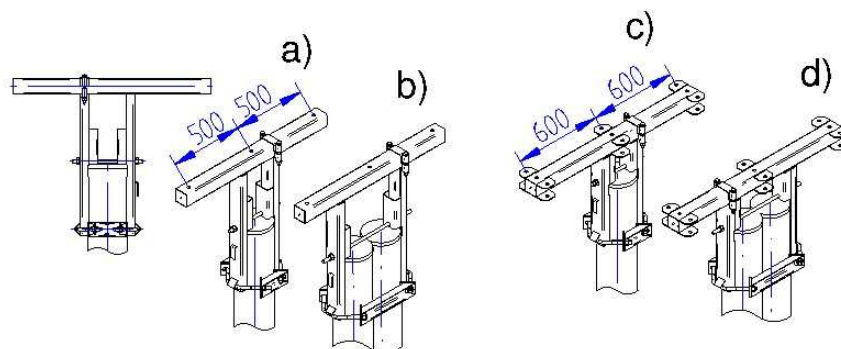
| Systém konzol | PAŘÁT-II (na betonové sloupy) |      |      |      |       |       | PAŘÁT-DS (na dřevěné sloupy) |        |        |        |        |        |
|---------------|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Typ konzoly   | JB-N                          | DB-N | DB-R | DB-K | JB-40 | DB-40 | DS-N-J                       | DS-N-Š | DS-N-U | DS-N-A | DS-K-Š | DS-K-A |
| F1 [kN]       | 3                             | 3    | 5    | 9,3  | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      |
| F2 [kN]       | 3                             | 3    | 9,3  | /    | 13    | 13    | 2                            | 5      | 5      | 5      | 9,3    | 9,3    |
| F3 [kN]       | 7                             | 7    | 7    | 7    | 13    | 13    | 7                            | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      |

Konzoly ze systému šestivodič (obr. 15) umožňují upnutí dvou linek VN na jednom stožáru. Tento systém je rovněž určený pro vodiče AlFe. Kvůli zvětšenému provoznímu zatížení se na dřevěné sloupy nekonstruuje. Používají se převážně při rozvodu linek VN u rozveden. Dvojité vedení se ovšem mnohem častěji aplikuje na pevnější příhradové stožáry.

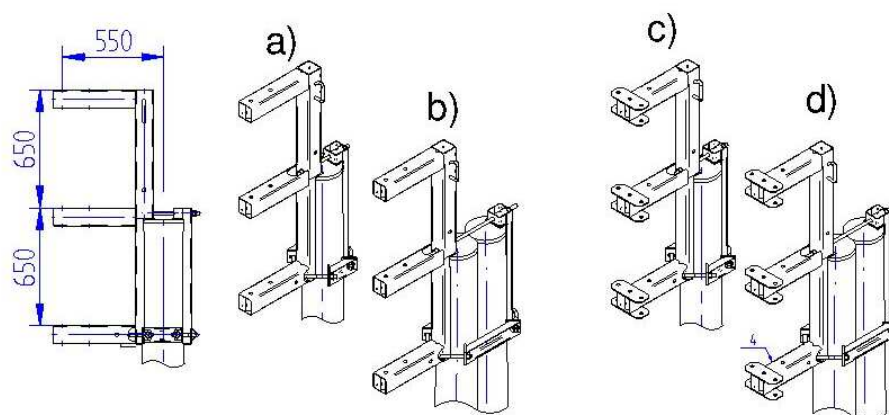


Obr. 15: Systém konzol šestivodič na betonové sloupy: a) 1600/3000/200-N-JB, b) 1600/3000/2000-R-JB, c) 1100/2000/1700-K-JB, d) 1100/2000/1700-N-JB

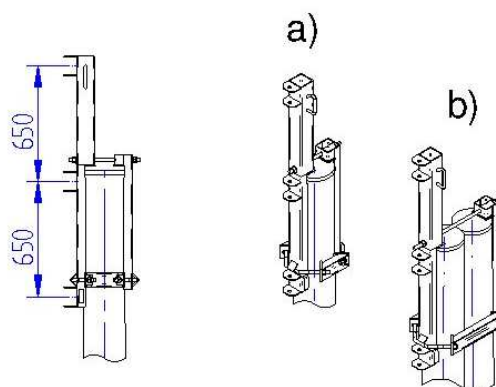
Konzoly pro jednoduché izolované vodiče (IZVE) dovolují menší mezifázové vzdálenosti. Vedení je kompaktní, používá se v lesních průsecích a zástavbě. Pro jednoduchá vedení se vyrábí v horizontálním (obr. 16) i vertikálním rozměrovém uspořádání (obr. 17 a 18), jak na betonové sloupy, tak i dřevěné. U dvojnásobného vedení je konzola konstruována pouze na betonové sloupy (obr. 19).



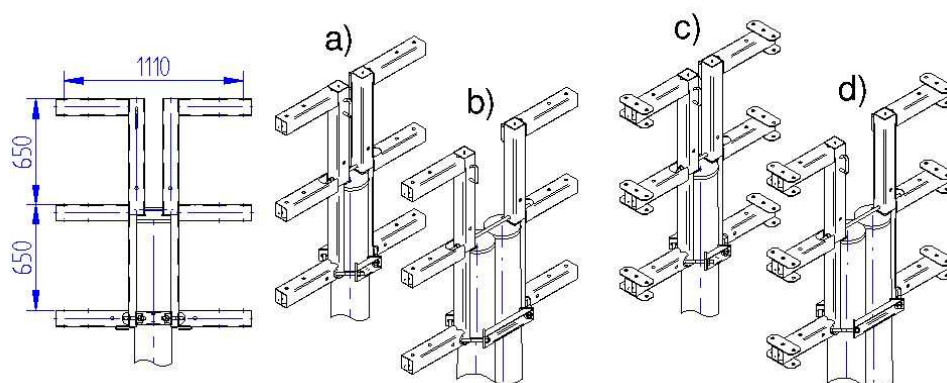
Obr. 16: Systém rovinných konzol 3xIZVE-II: a) 3xIZVE-II-JB-N, b) 3xIZVE-II-DB-N, c) 3xIZVE-II-JB-K, d) 3xIZVE-II-DB-K



Obr. 17: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-N, b) 3xIZVE-svisláI-DB-N, c) 3xIZVE-svislá-JB-K, d) 3xIZVE-svislá-DB-K



Obr. 18: Systém svislých konzol 3xIZVE: a) 3xIZVE-svislá-JB-R, b) 3xIZVEsvisláI-DB-R



Obr. 19: Systém svislých konzol 6xIZVE: a) 6xIZVE-svislá-JB-N, b) 6xIZVE-svisláI-DB-N, c) 6xIZVE-svislá-JB-K, d) 6xIZVE-svisláI-DB-K

Z předchozích obrázků je patrné, že typologie vrcholových konzol je velmi rozsáhlá, proto se tato práce bude dále detailněji zabývat pouze jedním konkrétním typem PAŘÁT-II-JB-N, na kterou jsou kladeny nové požadavky od distributora.



### 3.1.6 Konzola PAŘÁT-II-JB-N

Konzola PAŘÁT-II-JB-N je konstruována pro nosný účel tak, aby šla upnout na hlavu jednoduchého betonového sloupu o průměru od 180 do 250 [mm]. Skládá ze středního nosného ramene, ke kterému jsou přivařena boční ramena. Na každé rameno lze pomocí spojovacího materiálu namontovat podpěrný izolátor. Na středním nosném rameni jsou přivařeny držáky pro montážní stupačku a v horní části bezpečnostní kotva pro osobní zajištění pracovníka při práci ve výšce. Kotva přesahuje profil a je zahnuta do tvaru háku, pro případné odložení horního vodiče při výměně izolátoru. V dolní části středového ramene je přivařen zemnicí pásek. Součástí konzoly JB a DB je stavitelná třmenová objímka, která se skládá ze dvou kotevních segmentů a dvou svorníků tvaru otevřeného U.

Konzola a tělo objímky se svařuje z normalizovaných, za tepla válcovaných tvarově jednoduchých profilů. Veškeré použité profily (viz výrobní výkres v příloze 1) jsou z oceli S235JR (11 373), značené podle ČSN EN 10025. Samotná svařená konzola musí být dostatečně dimenzována, tak aby unesla stanovené provozní zatížení. Dostatečnou pevnost musí prokázat jak zvolený základní materiál jednotlivých dílců, tak i svarové spoje mezi dílci. Samotná pevnost ovšem nezaručí plnou funkčnost konzoly, ta totiž spočívá i v tuhosti upnutí na hlavě betonového sloupu.



Obr. 20: Popis konzoly PAŘÁT-II-JB-N: 1) bezpečnostní kotva, 2) střední rameno, 3) držák zásuvné montážní stupačky, 4) podpěra, 5) Podpěrný izolátor, 6) boční rameno, 7) čepice, 8) stavitelná třmenová objímka, 9) betonový sloup, 10) svorník M20, 11) výztuha bočního ramena, 12) opěrná deska [7].

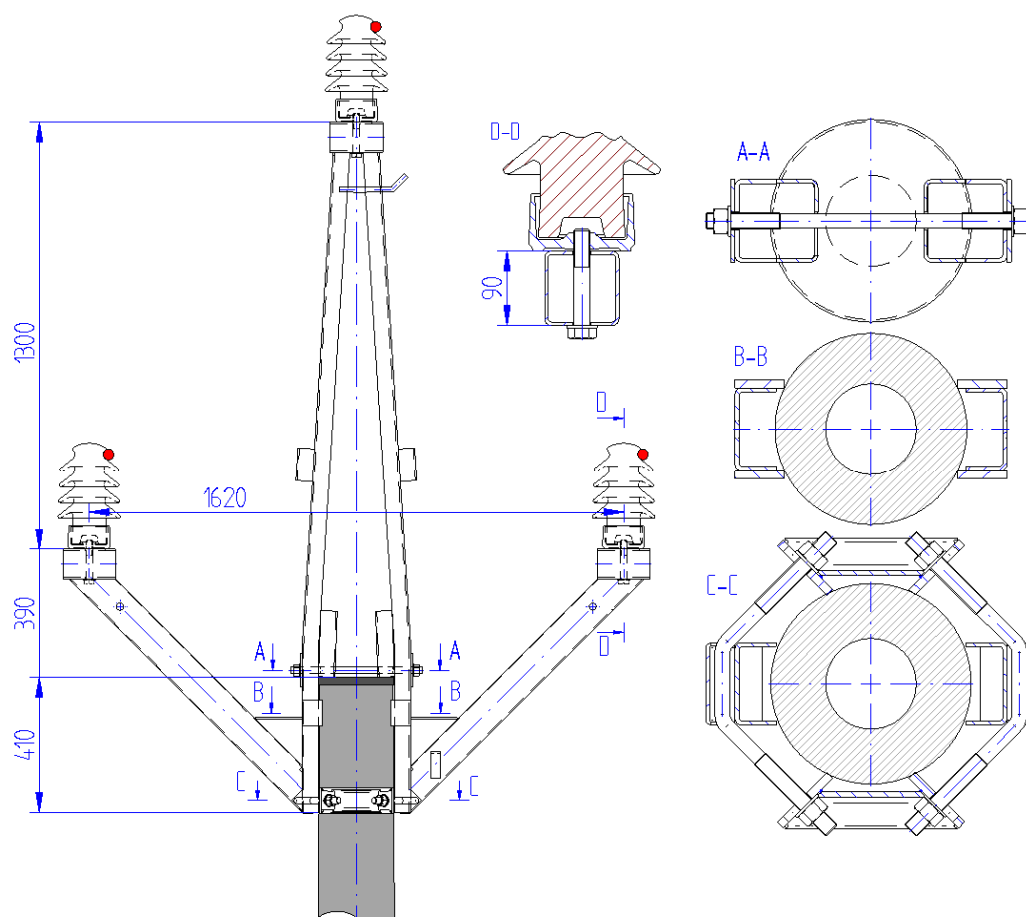


Problematika tuhého upnutí je velice komplikovaná a ve společnosti ES se ověřuje v rámci zatěžovací zkoušky únosnosti reálného prototypu. Konzola PAŘÁT-II-JB-N se dotýká hlavy betonového sloupu celkem ve 14 pomyslných kontaktech. Správnou polohu ve vertikálním směru zajišťují podpěry navařené z vnitřní části středového ramena (pozice 4 na obr. 20 a řez A-A na obr. 21). Podpěry slouží jako doraz, o který se konzola usadí při nasazování na hlavu sloupu. V tomto okamžiku může konzola již jen rotovat kolem osy sloupu.

Konzola musí udržovat stálou polohu vůči sloupu, po celou dobu životnosti. Tuhost upnutí vůči prokluzu se splní dotažením dvou matic svorníku M20, který prochází skrz podpěry a středové rameno těsně nad hlavou betonového sloupu (řez A-A na obrázku č. 21) a dotažením čtyř matic M20 tvarovaných svorníků (řez C-C na obrázku č. 21). Po dotažení všech matic, se čtyři opěrné silně zaříznou do betonového sloupu (cca 1-3mm). Tvarované svorníky třmenové objímky stahují profily středového ramena do osy sloupu a segmenty objímky se opět zaříznou do betonového sloupu čtyřmi ostrými hranami. Tento osvědčený způsob upnutí je použit na všech konzolách systému PAŘÁT-II, kterých se vyrobilo od roku 2005 přes 30 000 kusů. Zaručená tuhost upnutí vůči usmýknutí je důležitá v okamžiku, kdy se přetrhne jeden krajní vodič v lince a způsobí mírnou nerovnováhu působících sil. Nerovnováha sil může vzniknout i při samotné výstavbě venkovního vedení, kdy se natahují vodiče linky.

Utahovací moment matic není stanoven, protože se ostré hrany konzoly zařezávají v praxi do betonových sloupů pokaždé jinak hluboko a je obtížné ho analyticky vyjádřit.

Konzola obsahuje různé otvory a profily přizpůsobené velikosti, pro použití montážních přípravků. Montážní přípravky zjednodušují výstavbu a provoz venkovního vedení. Boční ramena obsahují otvory o průměru 22 [mm], do kterých se vkládají na stavbách montážní kladky pro natahování vodičů. Konzola je dále opatřena kapsami, navařenými na profilech středového ramena, do kterých se zasunují montážní stupačky. Konstrukce nesmí obsahovat uzavřené dutiny a kapsy. Pokud to konstrukce neumožní sama svým tvarem, musí se do dílců vystříhnout tzv. technologické otvory, tak aby po žárovém zinkování mohl tekutý zinek samovolně vytéct z konstrukce zpět do nádrže.



Obr. 21: Upnutí konzoly PARÁT-II-JB-N na betonovém sloupu JB

Podle nového požadavku, přijatého od distributorů a provozovatelů sítí venkovního vedení VN - E.ON ČR s.r.o., je geometrie konzoly PARÁT-II-JB-N nevyhovující. Požadavkem pro návrh nové konzoly PARÁT-III-JB-N je prodloužit vertikální vzdálenost mezi horním a krajním vodičem z 1200 na 1500 [mm]. Dále se musí zachovat vzdálenost horního vodiče od hlavy sloupu 2100 [mm] a horizontální mezifázovou vzdálenost 1620 [mm].

## 3.2 Navrhování konzol

### 3.2.1 Zákonné požadavky

Konzola je právně klasifikována jako stavební výrobek, představující zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, protože se natrvalo zabuduje do inženýrských staveb určených pro energetiku. To znamená, že musí výrobce respektovat příslušné zákony o stavebních výrobcích, technické normy a prokázat způsobilost k výrobě od akreditované organizace

Před uvedením výrobku na trh musí dále výrobce zajistit shodu vlastností výrobku s technickými předpisy, vydanými podle § 13 odstavec zákona 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů v platném znění a dle § 5 nařízení vlády č. 190/2002 Sb. v platném znění, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky označované CE, v souladu se směrnicí 89/106 EHS Rady Evropských společenství o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích – CPD), ve znění směrnice 93/68 EHS Rady Evropských společenství.

Konzola se vyrábí technologií svařování, tedy tzv. zvláštním procesem, u kterého se jakost nedá zajistit pouhými kontrolami. Proto je nutné chápat svařování jako komplexní proces, který prolíná celým spektrem činnosti výrobní organizace. Aby mohl výrobce zajistit požadovanou kvalitu výrobku, musí implementovat systém managementu kvality podle ČSN EN ISO 9001:2008, ve kterých je proces svařování dále specifikován normou ČSN EN ISO 3834-1 až 6. Kvalita výroby je řízena normou ČSN EN 1090-2 provádění ocelových konstrukcí. Výrobu ocelových konstrukcí mohou tudíž provádět pouze firmy s příslušným oprávněním podle normy ČSN EN 1090-1, ve které se odkazuje při navrhování stavebních konstrukcí na Eurokódy, začleněné do systému ČSN. Pro svařované ocelové konstrukce je to konkrétně EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.

Konzoly se pro zákazníky v ČR dále navrhují v souladu s podnikovou normou energetiky - PNE 33 3301 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV do 45kV včetně, která navazuje na evropskou normu EN 50 423:2005 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1kV AC do 45kV tak, aby společně s dalšími prvky venkovního vedení byla zaručena provozní bezpečnost.

Dalším kritériem pro navrhování konzol je Energetický zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny v platném znění, který stanovuje povinnost budovat nové venkovní vedení bezpečně vůči živočichům, speciálně vůči volně žijícím ptákům. Novela tohoto zákona 211/2011 Sb. povinnosti rozšiřuje a stanovuje povinnost zabezpečit před smrtelným úrazem ptactva nejen nové venkovní vedení, ale i všechna existující vedení – původní, nová i rekonstruovaná. Bezpečnost konzol vůči volně žijícím ptákům posuzuje Agentura ochrany přírody a krajiny v ČR (AOPK), která je v této věci pověřená Ministerstvem ochrany životního prostředí. Každá nová vrcholová konzola vysokého napětí musí obdržet kladné odborné stanovisko od AOPK.

### 3.2.2 Elektrické požadavky

Venkovní vedení se musí navrhovat a stavět tak, aby po dobu plánované životnosti [1]:

- sloužilo svému účelu ekonomicky, s přijatelnou úrovní spolehlivosti.
- odolávalo šíření poruchy
- nebylo příčinou zranění, ohrožení života nebo majetku při výstavbě, provozu a údržbě
- bylo bezpečné pro veřejnost
- bylo přijatelné z hlediska vzhledu a životního prostředí
- musí plnit požadavky bezpečné práce ve výškách pro údržbu a montáž doplňujícího zbrojení

#### 3.2.2.1 Spolehlivost venkovních vedení

Požadované spolehlivosti venkovních vedení se dosáhne, budou-li z hlediska zatížení navrženy v souladu s normou PNE 33 3301. Pro navrhování venkovních vedení do 45kV včetně, jsou v souladu s metodou obecného přístupu zavedeny čtyři úrovně spolehlivosti v závislosti na době návratu  $T$  klimatických zatížení, viz tabulka 2 [1].

Tab. 2: Úrovně spolehlivosti [1]

| Úroveň spolehlivosti | Doba návratu $T$ klimatických zatížení [roky] |
|----------------------|-----------------------------------------------|
| 0                    | 20                                            |
| 1                    | 50                                            |
| 2                    | 150                                           |
| 3                    | 500                                           |

Všechna venkovní vedení musí odpovídat alespoň úrovni 0, s výjimkou dočasných staveb, nebo provizorních přeložek. Úroveň spolehlivosti 1 je považována za referenční [1].

#### 3.2.2.2 Klasifikace napětí

Jmenovité napětí, nejvyšší napětí a požadovaná výdržná napětí pro dvě nejužívanější hladiny napětí ve venkovních sítích uvádí tabulka 3 [1].

Tab. 3: Jmenovitá, nejvyšší a výdržná napětí sítě [1]

| Jmenovité napětí $U_n$ [kV] | Nejvyšší napětí $U_s$ [kV] | Požadované výdržné napětí      |                            |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                             |                            | za deště $U_{rw\ 50\ Hz}$ [kV] | za sucha $U_{rw\ LI}$ [kV] |
| 22                          | 25,0                       | 50                             | 125                        |
| 35                          | 38,5                       | 75                             | 180                        |

### 3.2.2.3 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoků

„Ke stanovení nejkratších vzdáleností byla použita empirická metoda založená na zkušenosti s dlouhodobě provozně ověřenými vzdálenostmi. Hodnoty v tabulce 4 jsou vymezeny pouze pro holé vodiče do nadmořské výšky 1000m. Pro nadmořskou výšku nad 1000m se nejkratší vzdálenost zvětší o 1% na každých započatých 100m.

Tab. 4: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  a  $D_{pp}$  - pro vnitřní vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]                           | $D_{pp}$<br>[m]                                   | $D_{pp}$<br>[m]                            |
|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 25,0                               | 0,23                                      | 0,26                                              | 0,70                                       |
| 38,5                               | 0,38                                      | 0,45                                              | 0,70                                       |
| Poznámky                           | Mezi fázovými vodiči<br>a podpěrným bodem | Mezi fázovými vodiči<br>jednoho systému<br>vedení | K fázovým vodičům<br>jiných systémů vedení |

Tab. 5: Nejkratší vzdálenosti  $D_{el}$  - pro vnější vzdálenosti

| Nejvyšší napětí sítě<br>$U_s$ [kV] | $D_{el}$<br>[m]               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Pro všechna napětí                 | 0,6                           |
| Poznámky                           | K zemi a ostatním<br>objektům |

kde je:

$D_{pp}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoků mezi fázovými vodiči při přepětích s rychlým nebo s pomalým čelem.  $D_{pp}$  je vnitřní vzdálenost.

$D_{el}$  – nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoků mezi vodiči a objekty na potenciálu země, při přepětích s rychlým nebo pomalým čelem.  $D_{el}$  může být buď vnitřní, když se uvažují nejkratší vzdálenosti mezi vodiči a konstrukcí podpěrných bodů nebo vnější, když se uvažuje nejkratší vzdálenost mezi vodičem a objektem“ [1].

### 3.2.2.4 Nejkratší el. vzdálenosti pro zamezení přeskoků

Mezi fázovými holými vodiči musí být jak při teplotě vodičů  $+40^{\circ}\text{C}$ , tak i při návrhovém zatížení námrazou dodržena alespoň vzdálenost  $b_{emp}$  [1].

$$b_{emp} = k_{emp} \cdot \sqrt{f + L_{ins}} + c_{emp} \cdot D_{pp} \quad (3.1)$$

kde je:

$b_{emp}$  – minimální vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí [m]

|           |                                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $f$       | větší z průhybů vodičů [m]                                                              |
| $L_{ins}$ | svislá délka nosného izolátorového závěsu [m]                                           |
| $D_{pp}$  | nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič [m]                                     |
| $c_{emp}$ | konstanta, pro kontrolu vnitřních vzdáleností se bere $c_{emp}=0,6$ [ / ]               |
| $k_{emp}$ | součinitel, který je závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů podle vzorce. |

Pro izolační závěsy, které se nemohou vychylovat ve směru kolmém k ose vedení, podpěrné izolátory a pro pevné izolační konzoly se bere  $L_{ins} = 0$ . Součinitel  $k_{emp}$  se určí dle vztahu (3.2) [1].

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d / g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right] [ / ] \quad (3.2)$$

kde je:

|          |                                                                                                                                                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d$      | průměr neomrzlého vodiče [m]                                                                                                                                                                            |
| $g_c$    | tíha vodiče [N]                                                                                                                                                                                         |
| $\delta$ | úhel, který svírá vodorovná rovina s přímkou, určenou průsečíky os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí. Udává se ve stupních a nabývá velikosti od $0^\circ$ do $90^\circ$ . |

Se vzorcem (3.1) se dále bude pracovat v kapitole výpočtu provozního zatížení, kde je nutné stanovit maximální dovolenou vzdálenost mezi podpěrnými body podle rozměrového uspořádání vodičů na konzole. Maximální dovolená vzdálenost mezi podpěrnými body limitována právě i dovoleným průhybem vodiče. Vzorec (3.1) se proto převede rovnou do tvaru, který vyjadřuje maximální průhyb vodiče mezi podpěrnými body z navrženého rozměrového uspořádání vodičů na konzole.

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 \quad (3.3)$$

### 3.2.3 Konstrukční požadavky

#### 3.2.3.1 Volba základního a přídatného materiálu

Má-li konstrukce splňovat požadavky na ni kladené, musí vyhovovat z hlediska spolehlivé pevnosti, tuhosti a stability. K tomu přistupují i hlediska ekonomická. Toto řeší pojem – technologičnost konstrukce [2].

Prvořadým kritériem pro volbu základního materiálu je potřebná únosnost při provozním namáhání – ať už statickém nebo cyklickém. Nutno je též zohlednit charakter provozních podmínek: teplota, cyklické namáhání, působení koroze apod. Důležitá je rovněž otázka svařitelnosti a případné nutnosti předehřevu. Zařazování materiálu do 11 skupin pro účely svařování uvádí směrnice: TNI CEN ISO/TR 15 608 (05 0323) [2].

Pro stavební ocelové konstrukce se používají různé konstrukční oceli. Pro nosné konstrukce se doporučuje značka S355, protože konstrukce vyráběna z této oceli bývá většinou levnější, než z oceli S235. Ocel S235 se nejčastěji používá pro nenosné a doplňkové konstrukce. Všechny moderní oceli jsou svařitelné. Požadavky na plechy a tvarované tyče vyrobené válcováním za tepla z konstrukčních ocelí stanovuje norma ČSN EN 10025 [2].

Společnost ES na základě dlouholetých zkušeností upřednostňuje aplikaci materiálu S235JR. Zároveň dbá na plné recyklaci konzol bez nutnosti jakýchkoliv úprav. To znamená, že jsou všechny dílce jednoho svařeného nerozebíratelného celku ze stejného materiálu.

Jmenovitá mez kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost a nejmenší hodnota vrubové houževnatosti přídatného svarového kovu, mají být stejné nebo lepší než je stanoveno pro základní materiál. Společnost ES svařuje konzoly technologií MAG, při kterých je použit přídatný materiál typu G3Si1 (podle EN 14341), v podobě drátu o průměru 0,8 a 1,0 [mm] viz příloha č. 21.

### 3.2.3.2 Volba tvaru a velikosti polotovarů

Tvar a velikost profilů samotných dílů se volí tak, aby velikost průřezu profilu zajistila dostatečnou pevnost vůči stanovenému provoznímu namáhání. Prioritně se vybírají normalizované řady tyčí a profilů válcované za tepla, které jsou ve společnosti ES zavedeny, viz tabulka č. 6. Volba profilu se provádí zároveň tak, aby bylo umožněno provést svary potřebného tvaru a velikosti.

Tab. 6: Nejpoužívanější profily používané ve společnosti ES

| Typ profilu<br>(ČSN<br>EN 10025) | TR 4HR<br>ČSN EN<br>10210-2 | Profil U<br>ČSN 42 6963 | Tyč PLO<br>ČSN 42 5340 | Plech<br>ČSN 42 5310 | Profil U<br>ČSN 42 5570 |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| Velikost<br>[mm]                 | 90x90x4                     | 80x40x4                 | 30x5 (8,10)            | P1,5                 | U80                     |
|                                  | 100x100x3                   | 100x50x4                | 40x5 (8,10)            | P2                   | U100                    |
|                                  | 100x100x5                   | 100x50x5                | 50x5 (8,10)            | P2,5                 |                         |
|                                  |                             |                         | 60x5 (8,10)            | P3                   |                         |
|                                  |                             |                         | 80x5 (8,10)            | P4                   |                         |
|                                  |                             |                         | 100x5 (8,10)           | P5                   |                         |

### 3.2.3.3 Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly

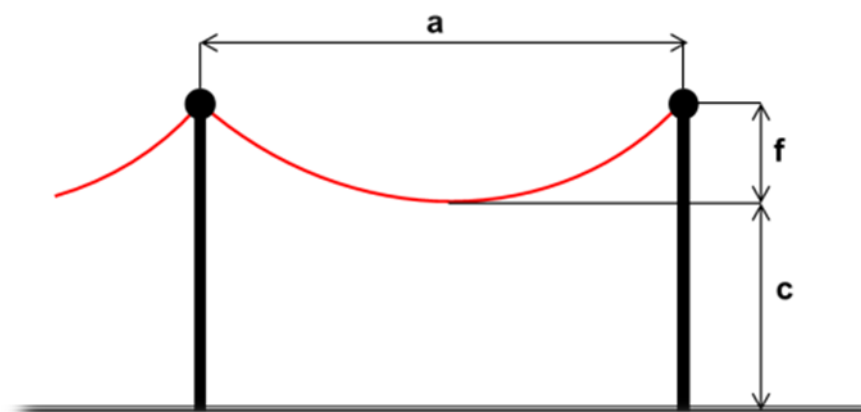
Na nové konzoly VN je od distributorů elektrické energie kladen zásadní požadavek zaměnitelnosti staré konzoly za novou, proto se při návrhu nového typu musí vždy uvažovat maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body z prvotně používaných konzol, které musí i nová konzola svým uspořádáním vodičů umožnit.

Na nové konzoly je současně kladen požadavek zachování trojúhelníkového uspořádání vodičů. Krajní vodiče na nové konzoly by neměly dosahovat vzdálenost od terénu výrazně nižší než prvotně vzniklé konzoly.

Historicky první řada vrcholových konzol v ČR vznikla současně se zahájením výroby betonových sloupů v 60. letech 20. Století. Soubor těchto konzol se značí rovinným (vodorovným) uspořádáním vodičů. Tehdy vznikly i první podklady pro projektování, vycházející z dnes již neplatné normy ČSN 34 1100 z roku 1972. Rozměrové uspořádání vodičů na rovinných konzolách umožňovalo vzdálenosti mezi podpěrnými body uvedené v tabulce 7.

Tab. 7 – Maximální vzdálenosti PB, podle geometrie prvotních rovinných konzol

| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká |
| 42/7 AlFe    | 127                                                                   | 102       | 86      |
| 70/11-1 AlFe | 150                                                                   | 122       | 105     |
| 110/22 AlFe  | 180                                                                   | 152       | 133     |

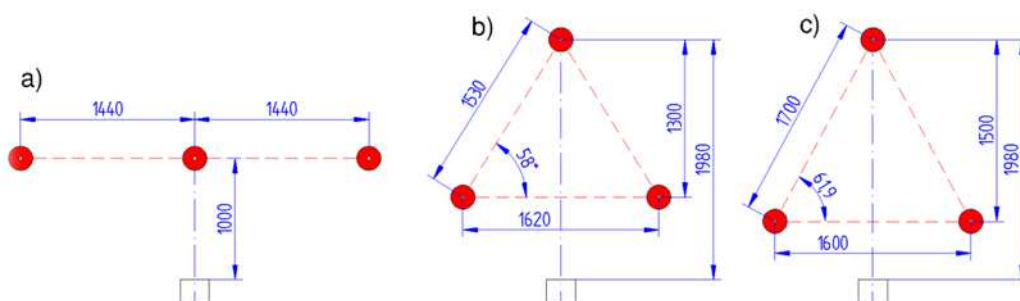


Obr. 22: Schéma geometrie jednoho rozpětí mezi podpěrnými body:

a – vzdálenost mezi PB (rozpětí pole), f – průhyb vodiče, c – výška vedení nad zemí [11]



Rovinné konzoly VN na betonové sloupy musely optimálně pokrýt široké pásmo uvažovaných vzdáleností, proto vznikly tehdy tři pevnostní typy konzol, které se dále člení podle sloupového provedení na konzolu lehkou, výztužnou a těžkou.



Obr. 23: Rozměrové uspořádání vodičů na konzoly:  
vlevo – prvotní rovinná konzola, uprostřed - konzola PARÁT-II-JB-N,  
vpravo – nový požadavek uspořádání pro konzolu PARÁT-III-JB-N

Zaměnitelnost konzol je důležitá zpravidla při rekonstrukcích stávajících linek, kde se při výměně PB požaduje zachování stávajícího místa. Jedině tak není nutné projednávat nové umístění stožáru s majiteli pozemků. Zaměnitelnost spočívá v dosažení stejné nebo větší maximální vzdálenosti podpěrných bodů se stejným nebo obdobným vodičem a za předepsaných povětrnostních podmínek. Při návrhu se vychází z předpokladu upevnění obou konců vodičů ve stejné výši. V praxi se rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost nepoužívá, ale nelze vyloučit ojedinělé případy.

Z rozměrového uspořádání vodičů se vypočte maximální dovolený průhyb  $f_{\max}$  pro nejpoužívanější typy vodičů, podle rovnice (3.3). Poté se řeší stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči, při jednotlivých námrazových oblastí.

Stavová rovnice pro přepočet tahu ve vodiči:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2 \quad (3.2)$$

kde je:

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| $\sigma_{H1}, \sigma_{H0}$ | vodorovné mechanické napětí ve stavech 1 a 0 [MPa] |
| $E$                        | modul pružnosti vodiče [MPa]                       |
| $\vartheta_1, \vartheta_0$ | teplota okolí ve stavech 1 a 0 [°C]                |
| $\alpha$                   | součinitel tepelné roztažnosti vodiče [°C]         |
| $z_1, z_2$                 | přetížení ve stavech 1 a 0 [ / ]                   |

Do stavové rovnice se dosazují číselné hodnoty vzdálenosti mezi PB a výsledkem je vodorovné napětí ve vodiči  $\sigma_H$ , jehož hodnota nesmí překročit dovolenou mez napětí od výrobce  $\sigma_{dov\ max}$ . Maximální dovolenou vzdálenost mezi PB  $a_{max}$  pro konkrétní lano určí stav, při kterém je dosažena hodnota  $\sigma_{dov\ max}$ .

Získané hodnoty  $a_{max}$  a  $\sigma_{dov\ max}$  se dosadí do rovnice pro výpočet obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly, ve které se provede kontrola, zda nebyla překročena hodnota maximálního dovoleného průhybu od rozměrového uspořádání konzoly  $f_{max}$ . Pokud se hodnota  $f_{max}$  překročila, postupně se snižuje  $a_{max}$ , dokud nebude  $f_{max}$  v rovnováze s hodnotou dle výpočtu rozměrového uspořádání vodičů.

Obecný tvar průhybové křivky jako paraboly je:

$$f_{max} = \frac{a_{max}^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} \quad (3.5)$$

kde je:

$a_{max}$  délka rozpětí (maximální vzdálenost mezi podpěrnými body) [m]

$\gamma$  měrná tíha vodiče [ $N \cdot mm^{-2} \cdot m^{-1}$ ]

$z$  přetížení vodiče námrazou [-]

$\sigma_H$  Vodorovné namáhání ve vodiči [MPa]

Správně navržená geometrie systému konzol bude vykazovat hodnoty maximální vzdálenosti mezi PB, blízké hodnotám v tabulce č. 7.

### 3.2.3.4 Maximální vzdálenost mezi PB s konzolou PAŘÁT-III-JB-N

Na konzoly PAŘÁT-III-JB-N se nejprve musí prověřit, jaký průhyb dovolí mezifázová vzdálenost mezi vodiči na bočních ramenech a mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním. Dovolенý průhyb pak stanoví ta rizikovější mezifázová vzdálenost.

Kvůli velkému rozsahu výpočtu se zde podrobně vyřeší pouze jeden stav pro jeden konkrétní vodič a ostatní stavy se ukáží formou výsledků v souhrnných tabulkách.

Podle tabulky č. 7, musí konzola umožnit svým rozměrovým uspořádáním vzdálenost mezi podpěrnými body  $a_{max}=127$  [m] pro vodič 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti.

Výpočet  $k_{emp}$  a  $f_{max}$  se provede podle vzorců (3.2) a (3.3), pro všechny typy nejpoužívanějších vodičů. V ČR jsou to vodiče 42/7 AlFe, 70/11-1 AlFe a 110/22 AlFe.

Výpočet součinitele  $k_{emp}$ , pro vodič 42/7 AlFe:

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d / g_c)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{50} \right) \cos(2\delta) + 0,5 \sin(2\delta) \right]$$

$$= 0,56 + \frac{(1 + 9 / 0,17159)}{200} \cdot \left[ 5,7 - 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{61,9}{50} \right) \cos(2 \cdot 61,9) + 0,5 \sin(2 \cdot 61,9) \right]$$

$$= \underline{\underline{0,837}}$$

Výpočet maximálního dovoleného průhybu  $f_{max}$  pro vodič 42/7 AlFe:

$$f_{max} = \left( \frac{b_{emp} - (c_{emp} \cdot D_{pp})}{k_{emp}} \right)^2 = \left( \frac{1,7 - (0,6 \cdot 0,26)}{0,837} \right)^2 = \underline{\underline{3,4}} \text{ [m]}$$

Tab. 8 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodiče bočního a horního, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,7 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=61,9^\circ$ |           |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                      | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,837                                                                                          | 3,4       |
| 70/11-1 AlFe | 0,797                                                                                          | 3,75      |
| 110/22 AlFe  | 0,741                                                                                          | 4,34      |

Tab. 9 – Maximální dovolený průhyb vodiče mezi PB, podle rozměrového uspořádání vodičů bočních, na konzole PAŘÁT-III-JB-N

| Typ vodiče   | $b_{emp}=1,6 \text{ [m]}, c_{emp}=0,6 \text{ [m]}, D_{pp}=0,26 \text{ [m]}, \delta=0^\circ$ |           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | $k_{emp}$                                                                                   | $f_{max}$ |
| 42/7 AlFe    | 0,674                                                                                       | 4,59      |
| 70/11-1 AlFe | 0,658                                                                                       | 4,82      |
| 110/22 AlFe  | 0,635                                                                                       | 5,18      |

Z tabulek 8 a 9 je patrné, že mezifázová vzdálenost mezi vodičem horním a bočním, je rizikovější, než vodorovná vzdálenost mezi vodiči bočními. Maximální dovolený průhyb vodiče je stanoven tím přísnějším kritériem dle tabulky č. 8.

Nyní se může přejít k výpočtu maximální dovolené vzdálenosti mezi podpěrnými body přes již zmíněnou stavovou rovnici a rovnici obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly.

Výpočet stavové rovnice (3.4) pro přepočet tahu ve vodiči 42/7 AlFe, v lehké námrazové oblasti, při dosazení  $a_{max}=139\text{m}$ :

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} (a \cdot z_1)^2$$

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[ \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} \cdot \left( \frac{139 \cdot 1}{38} \right)^2 + 0,000018714 \cdot 80004 \cdot (-5 - (-5)) - 38 \right] = \frac{0,03401^2 \cdot 80004}{24} (139 \cdot 4,672)^2$$

Výsledkem je velikost vodorovného napětí ve vodiči  $\sigma_{H1}=114,423$  [MPa]. Výrobce lan uvádí hodnotu  $\sigma_{\text{dov max AlFe42/7}} = 109,164$  [MPa]. Vzhledem k tomu, že tyto výpočty jsou pouze orientační, je výsledek vyhovující. Následuje kontrolní výpočet maximálního dovoleného průhybu z obecného tvaru průhybové křivky jako paraboly podle rovnice (3.5):

$$f_{\text{max}} = \frac{a^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} = \frac{139^2 \cdot 0,03401 \cdot 4,672}{8 \cdot 114,423} = 3,404 [\text{m}]$$

Tento stav splňuje zadání, konzola umožňuje v lehké námrazové oblasti maximální dovolenou vzdálenost  $a_{\text{max}}=139$  m. To je o 12 m více, než prvotní rovinná konzola. Výsledky pro ostatní vodiče a námrazové oblasti jsou znázorněny v tabulce č. 10

Tab. 10 – Maximální vzdálenosti PB, podle rozměr. uspořádání na konzole PAŘÁT-III-JB-N (v závorkách jsou hodnoty rozdílu oproti původním rovinným konzolám)

| Typ vodiče   | Maximální vzdálenosti stožárů (PB) [m]<br>(podle námrazových oblastí) |           |          |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|              | L-lehká                                                               | S-střední | T-těžká  |
| 42/7 AlFe    | 139 (+12)                                                             | 96 (+6)   | 80 (-6)  |
| 70/11-1 AlFe | 152 (+2)                                                              | 123 (+1)  | 101 (-4) |
| 110/22 AlFe  | 175 (-5)                                                              | 147 (-6)  | 124 (-9) |

Konzola PAŘÁT-III-JB-N těsně nesplňuje požadavek záměnnosti ve všech případech, ale nesmí se zapomenout, že se jedná o nejlehčí konzolu ze systému PAŘÁT-III. Rozmístění podpěrných bodů na maximální vzdálenost se navíc téměř neprovádí.

V extrémních vzdálenostech se použije konzola PAŘÁT-III-DB-R, popřípadě konzoly jiného systému s většími mezifázovými vzdálenostmi a mnohem vyšší pevností.

### 3.2.3.5 Místa pro montáž izolátorů

Podle účelu podpěrného bodu musí konzola umožnit montáž příslušných typů izolátorů, které jsou uvedeny v kapitole 3.1.4. Na nosné konzoly se montují podpěrné izolátory typu VPA/VPAv, pomocí šroubu se závitem M20 viz obrázek 8.

Jelikož spojovací materiál a izolátory nejsou součástí dodávky výrobců konzol, výrobce musí respektovat zavedené délky šroubů dle standardů energetik a přizpůsobit tomu tvar konstrukce. Podle zkušeností je optimální zvolit profil o velikosti 50, 80, 90 nebo 100 mm, skrz který prochází šroub M20 délky 80, 100, 110 nebo 120 mm. Otvory pro šrouby se volí vždy o 2 mm větší než je jmenovitý průměr závitu, kvůli povlaku technologií žárového zinkování.

Konzoly rohové a kotevní jsou konstruovány tak, aby umožnily montáž kotevních izolátorů. Konstrukce musí obsahovat navařené kotevní desky (příložky), do kterých se montují kotevní klouby různých velikostí se zapřaženými kotevními izolátory. Velikosti kloubů, zavedené ve standardech energetik, jsou na obrázku č. 10. Skrz otvory v kotevních deskách o průměru 22 mm a kotevní kloub se provléká šroub se závitem M20x130, který je axiálně jištěný maticí, nebo závlačkou. Otvory na kotevních deskách musí být vzdálené od konstrukce minimálně 30 mm.

### **3.2.3.6 Technologické úpravy konzol pro zinkování**

Konzoly musí být navrženy s ohledem na korozi – s uplatněním vhodné povrchové ochrany dle EN ISO 12944 [2].

Kvůli technologii žárového zinkování konzoly nesmí obsahovat žádné uzavřené dutiny v profilech. Ani kapsy, které by mohly bránit samovolnému stékání roztaveného zinku při vynoření konzoly z vany. Pokud se naskytnou takovéto dutiny u konstrukce, musí se v daných místech provést tzv. technologickými prostřihy. Technologické prostřihy se zakreslují do výrobní dokumentace jednotlivých dílů a počítá se s nimi již od samého počátku navrhování, protože mohou zeslabit průřez základního materiálu, či průřez svarového spoje.

### **3.2.4 Technologie výroby**

Výroba konzoly se skládá z pěti výrobních fází. (výroba jednotlivých dílů, svařování technologií MAG, externí žárové zinkování, kompletace a balení). Výroba dílů sestavy spočívá v řezání polotovarů na pásových pilách. Následuje stříhání otvorů na hydraulických lisech.

Díly se mohou v lisech také ve speciálních přípravcích ohýbat. Hotové díly se shromažďují na svářečském pracovišti a naskládají se podle výrobního výkresu do přípravku, upnutém na pracovním stole. Přesně usazené dílce se k sobě nejdříve nabodují a poté se na požadovaných místech provedou svarové spoje. Svařené sestavy se přepravují do zinkovny, kde se provádí ochranný povlak technologií žárového zinkování.

Zinkované výrobky se vrací zpět do společnosti ES na pracoviště kompletace, kde se konzola opatří spojovacím materiálem. Následně se provádí balení konzol na palety a přemístění do výdejních prostorů.

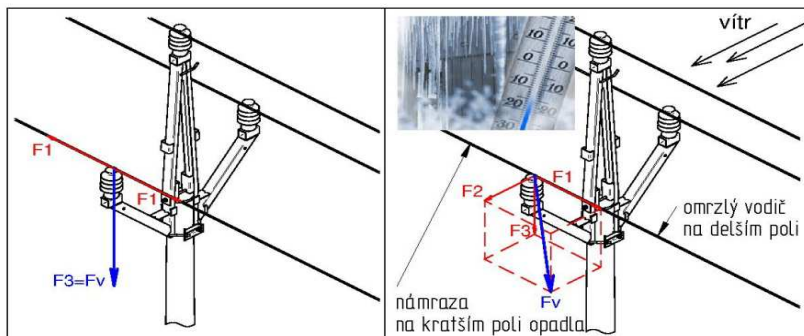
### 3.3 Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-III-JB-N způsobují vodiče připevněné v izolátorech. Zatížení lze zatřídit do dvou kategorií, stálé a nahodilé. Za stálé zatížení se považuje tíha vodičů z přilehlých rozpětí, tah z předpětí kotevního lana trvale kotveného podpěrného bodu při referenční teplotě a účinek tahu vodiče při referenční teplotě. Tíha samotné konzoly a izolátorů je zanedbatelná. Nahodilá zatížení způsobuje výrazná změna teploty, vítr a námraza.

Pro potřebu správného dimenzování konzoly vůči maximální provozní zatížení (nejnepříznivější kombinací všech stálých i nahodilých jevů) musí být známi následující parametry.

- Parametry nejtěžšího vodiče
- Maximální vzdálenost mezi podpěrnými body
- Nejnepříznivější uvažovaná nahodilá zatížení vodičů v podobě větru a námrazy

Provozní zatížení je způsobeno třemi složkami  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$ , viz obrázek č. 24. Síla  $F_1$  působí ve směru vedení a je způsobena stálou tahovou silou vodičů způsobenou rozdílnými délkami sousedních polí, popřípadě nahodilým zatížením v podobě nerovnoměrné námrazy na sousedních polích. Síla  $F_2$  působí kolmo na směr vedení a je způsobena větrem v témže směru. Pokud je PB v lomu trasy, přidává se ještě výslednice tahových sil. Síla  $F_3$  plyne z tíhy vodičů, jako součet polovin sousedních polí.



Obr. 24: Provozní zatížení konzoly PAŘÁT-II-JB-N:  
vlevo - při rovnováze tahových sil, bez větru a námrazy, vpravo – maximální zatížení

Pro účely dimenzování konzoly se zavádí určitá zjednodušení ve výpočtech, proto se obvykle konzoly dimenzují na únosnost provozního zatížení, jehož maximum se ještě násobí koeficientem spolehlivosti. Snahou výrobce je dimenzovat konzoly tak, aby jejich pevnost nebyla nejslabším článkem podpěrného bodu. Při překročení maximálního provozního zatížení dojde s největší pravděpodobností dříve k porušení izolátorů, nebo dokonce samotných stožárů.

Společnost ES si nechalo provozní zatížení posoudit od autorizovaných projektantů a odborných zaměstnanců energetik. Vzhledem k velkému rozsahu této problematiky, se zde uvedou pouze finální vztahy s číselným dosazením. Za správnost výsledků odpovídá společnost E. ON ČR s.r.o.

Síla F3, vztažená k jednomu vodiči, se vypočte ze vztahu (3.6), pro námrazovou oblast N3.

$$F3 = a_{max} \cdot (g_c \cdot I_R) \quad (3.6)$$

kde je:

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$g_c$  tíha vodiče, nebo jednoho dílčího svazku na 1 m délky [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$I_R$  referenční zatížení námrazou na jednotku délky [N/m]

Síla F2, vztažená k jednomu vodiči, se řeší vztahem (3.7), pro kategorii terénu II. a větru o síle stupně III.

$$F2 = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot a_{max} \cdot \sin^2 \beta \quad (3.7)$$

kde je:

$q_h$  dynamický tlak větru ve výšce h nad zemí [Pa]

$G_q$  poryvový součinitel [-]

$G_c$  součinitel rozpětí [-]

$d$  průměr holého, izolovaného vodiče, nebo kabelového systému [m]

$C_c$  součinitel aerodynamického odporu vodiče [-]

$a_{max}$  maximální vzdálenost mezi podpěrnými body (pro vodič 110/22 AlFe) [m]

$\beta$  úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče [°]

Dosazením číselných hodnot do rovnic (3.6 a 3.7) vzejdou zbývající síly F3 a F2.

$$F3 = 124 \cdot (4,8490 + 27,081) = 3,959 \text{ kN}$$

$$F2 = 563 \cdot 2,05 \cdot 0,95 \cdot 0,01496 \cdot 1,0 \cdot 175 \cdot 1,0 = 2,870 \text{ kN}$$

Síla  $F_1$ , vztažená k jednomu vodiči, byla po dohodě s uživateli stanovena na hodnotu 3 kN. V praxi se zjistilo, že při opadnutí námrazy na jednom nejdelším možném poli v námrazové oblasti N3, vznikne nahodilá síla  $F_1=2,641$  kN.

### **3.4 Výpočet pevnosti konzoly VN**

#### **3.4.1 Normy a předpisy pro výpočet pevnosti**

V současné době pro výpočet pevnosti stavebních konstrukcí platí tzv. Eurokódy, které jsou začleněné do systému ČSN [3]. Únosnost staticky zatížených svařovaných ocelových konstrukcí se nachází v následujících normách:

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1993 (Eurokód 3) Navrhování ocelových konstrukcí
  - ČSN EN 1993-1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
  - ČSN EN 1993-1-8 Navrhování styčníků

#### **3.4.2 Návrhová únosnost základního materiálu konstrukce**

Pro ocelové konstrukce se použije rovnice (3.8) z EN 1990, z které se stanoví návrhová únosnost základního materiálu svařované ocelové konstrukce [4]:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (3.8)$$

kde je:

- $R_d$       Návrhová únosnost základního materiálu [MPa]  
 $R_k$       Dolní mez kluzu základního materiálu [MPa]  
 $\gamma_M$       dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]

Hodnota návrhové únosnosti zvoleného materiálu, nesmí být v žádném místě při působení maximálního provozního zatížení překročena, pak platí vztah (3.9).

$$\sigma_{max} \leq R_d \quad (3.9)$$

kde je:

- $\sigma_{max}$       maximální naměřené napětí [MPa]



### 3.4.3 Návrhová únosnost svarových spojů

Ustanovení této kapitoly se vztahují na svařitelné konstrukční oceli s tloušťkou materiálu 4mm a více, které odpovídají EN 1993-1-1. Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou obdobné vlastnostem základního materiálu. Svary v tenčích materiálech mají splňovat EN 1993-1-3 a svary konstrukčních dutých průřezů s tloušťkou materiálu 2,5mm a více se řídí kapitolou 7 této normy. Obvykle se požaduje kvalita svaru C podle EN ISO 25817, není-li uvedeno jinak [4].

#### 3.4.3.1 Návrhová únosnost koutových svarových spojů

Návrhová únosnost koutového svaru se má určit buď metodou uvažující směr namáhání, která je uvedena, nebo zjednodušenou metodou. V této práci bude aplikována zjednodušená metoda, ve které se stanoví návrhová pevnost svaru ve smyku  $f_{vw,d}$  ze vztahu (3.10) [5]:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (3.10)$$

kde je:

$f_u$  Jmenovitá hodnota meze pevnosti nejslabší spojované části v tahu [MPa]

$\beta_w$  Korelační součinitel podle tabulky [-]

$\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti svaru [-]

Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech pevnostní podmínka (3.11):

$$\sigma_{max} \leq f_{vw,d} \quad (3.11)$$

kde je:

$\sigma_{max}$  maximální naměřené napětí [MPa]

#### 3.4.3.2 Návrhová únosnost tupých svarových spojů

Návrhová únosnost s plným provařením se má uvažovat stejná jako návrhová únosnost slabší ze spojovaných částí za předpokladu, že je svar proveden vhodným přídatným materiálem, který zajistí v celé oblasti svaru mez kluzu a pevnost ne menší, než jaká je požadovaná pro základní materiál [5].

### **3.4.4 Pevnostní analýza v Solid Edge – Simulation**

Solid Edge Simulation je nadstavbový modul CAD Solid Edge, jako funkce pro analýzu metodou konečných prvků na bázi řešiče NX Nastran (používá jej ve svém vývoji například NASA). Modul Simulation byl navržen specificky pro inženýry a vývojáře/analytiku, kteří používají Solid Edge pro tvorbu modelů a technické dokumentace. V režimu Simulation se pomocí analýzy MKP vizualizuje přetvoření zatížené konstrukce, nebo hodnoty napětí a jiných zkoumaných veličin. Výsledky simulace omezují nutnost použití reálných prototyp, pomáhají snižovat hmotnost, množství potřebných materiálů a tím i cenu konstrukce [8].

Analýza MKP umožňuje konstrukci, vylepšení a optimalizaci celých návrhů ještě před jejich uvedením do výroby. Tím se zkracuje doba nutná k uvedení produktu na trh a snižují se náklady na přepracování [9].

Modul Simulation poskytuje pevnostní analýzu svařované ocelové konstrukce, vytvořené v prostředí sestavy modeláře Solid Edge. Sestava je řešena jako jedna geometrie, složená z objemových regionů jednotlivých dílců, jejichž objemy jsou vzájemně pevně spojeny. Alternativní řešení je vytvořit ocelovou konstrukci, jako jeden dílec.

Cílem pevnostní analýzy svařovaných ocelových konstrukcí je stanovení dovoleného napětí pro použitý materiál. Přitom se nesmí opomenout tepelné ovlivnění základního materiálu konstrukce, během procesu svařování.

#### **3.4.4.1 Tvorba modelu sestavy v Solid Edge**

Před tvorbou sestavy, která bude podrobena pevnostní analýzou, se vytvoří všechny samostatné díly sestavy. Díly mohou být typu objemové součásti, nebo plechového dílu. K jednotlivým dílům se přiřadí jejich materiálové vlastnosti a uloží se jako samostatné soubory. V režimu sestavy se vymodelované díly načtou a patřičnými vazbami spojí do jednoho celku. Výsledná geometrie sestavy by měla odpovídat co nejbližší reálné konstrukci.

Pro objektivní a rychlé provedení analýzy se provádí některá zjednodušení. Čím více bude geometrie modelu tvarově složitější, tím snáze mohou nastat problémy s vyhodnocením analýzy. Z modelu by se proto měly vyřadit prvky, které nemají zásadní vliv na posuzování pevnosti konstrukce, jako např. některé díry, zaoblení hran, doplňující prvky které nepřenáší napětí apod.

U modelu svařované ocelové konstrukce jsou častými jevy ostré přechody mezi jednotlivými díly sestavy. Ostré přechody vznikají i mezi díly a svarovým kovem a jsou koncentrátoři napětí.

### 3.4.4.2 Postup tvorby analýzy v Solid Edge Simulation

Pokud je připravený model sestavy, přejde se v Solid Edge do režimu Simulation, kde se zvolí potřebné parametry studie. Na výběr jsou tři hlavní typy studií:

- Lineární statika
- Modální analýza
- Vzpěrná analýza

Pro statickou analýzu pevnosti se použije lineární statika. Objem modelu se nahradí příslušným typem sítě:

- Čtyřstěnná
- Plošná
- Kombinovaná

Typ a jemnost sítě se volí podle charakteru konstrukce. Pro analýzu modelu konzoly se zvolí lineární statika a čtyřstěnná síť. Dále se definuje geometrie, zatížení, omezení, síť a spoje, dle nabídek.

Čím jemnější bude struktura sítě, tím přesnější bude výsledek napjatosti, ovšem pro rozměrově velké konstrukce to může znamenat časovou náročnost výpočtu. Optimální síť dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel.

Dále se definuje zatížení reprezentované silou, např. o velikosti 1kN, která bude působit na konci nosníku z horního otvoru vertikálně dolů. Ve finále se nastaví síť modelu, jejíž struktura se volí podle charakteru modelu. Čím jemnější síť nastavíme, tím přesnější můžeme očekávat výsledek analýzy. Zbytečně jemná síť pro velké prvky, zase zbytečně prodlužuje výpočet.

Optimální parametry sítě dokáže odhadnout pouze zkušený uživatel. Po nastavení sítě se musí vazby mezi jednotlivými dílci nahradit virtuálními spoji, které budou v analýze reprezentovat svarové spoje. Jelikož materiál svarového kovu má větší mez kluzu než materiál konstrukce, tuhost spojů modelu se bude uvažovat jako dokonale tuhá.

Nakonec se odeberou modelu všechny stupně volnosti a nastaví se provozní zatížení. Pokud hraje velkou roli i vlastní tíha konstrukce, nastaví se velikost a směr gravitační síly. U konstrukcí může hrát velkou roli i změna teploty okolního prostředí, Simulation nastavení teploty prostředí v analýze umožňuje.

### **3.4.4.3 Výsledky analýzy**

Analýza umožňuje vypracovat následující výsledky:

- Výsledky posunutí (přetvoření)
- Výsledky napětí (normálové, smykové, von Mises apod.)
- Koeficient bezpečnosti modelu

## **3.5 Metodika ověřování funkčnosti ve společnosti ES**

Ve společnosti ES se funkčnost a pevnost konzol ověřuje zatěžovací zkouškou únosnosti, která se řídí normou ČSN 73 2030 [6]. Zkouška probíhá na reálně zhotoveném prototypu, který se upne na zkušební zkrácený betonový sloup. Na příslušná místa konzoly se připevní lano, jehož druhý konec se připojí do dynamometru. Dynamometr je zapřažen za hák jeřábu, který konstrukci postupně zatěžuje podle zatěžovacího diagramu. Výsledkem zkoušky je hodnota zatížení v požadovaném směru, při které dojde k překročení meze únosnosti konstrukce (výskyt trvalých plastických deformací, ztráta stability apod.).

### **3.5.1 Zatěžovací zkouška únosnosti podle ČSN 73 2030**

#### **3.5.1.1 Účel zatěžovacích zkoušek**

Účelem zatěžovací zkoušky je [6]:

- posoudit spolehlivost konstrukce, pokud toto posouzení je předepsáno v systému, kterým se zajišťuje spolehlivost konstrukcí,
- ověřit výpočtové modely, pokud je pochybnost, že použité výpočtové modely nejsou dostatečně výstižné

#### **3.5.1.2 Druhy zatěžovacích zkoušek**

Z hlediska způsobu vyhodnocení se zatěžovací zkoušky dělí na [6]:

- Zatěžovací zkoušky prováděné do dosažení únosnosti konstrukce
- Zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti konstrukce

Z hlediska účelu se zatěžovací zkoušky dělí [6]:

- Průkazní, popř. prototypové zkoušky, sloužící k ověření spolehlivosti před zahájením výroby konstrukcí
- Kontrolní výrobní zkoušky, sloužící k prověření spolehlivosti v průběhu, nebo po dokončení výroby konstrukcí

### 3.5.1.3 Provádění zatěžovacích zkoušek

Zkoušky se provádí v takových podmínkách, které se co nejvíce přibližují podmínkám působícím v provozu. Při zatěžovací zkoušce se postupně zvyšuje zatížení na konstrukci a měří se odezva konstrukce. Konstrukce se zatěžuje podle předem stanoveného zatěžovacího postupu [6].

### 3.5.1.4 Základní zatěžovací postup

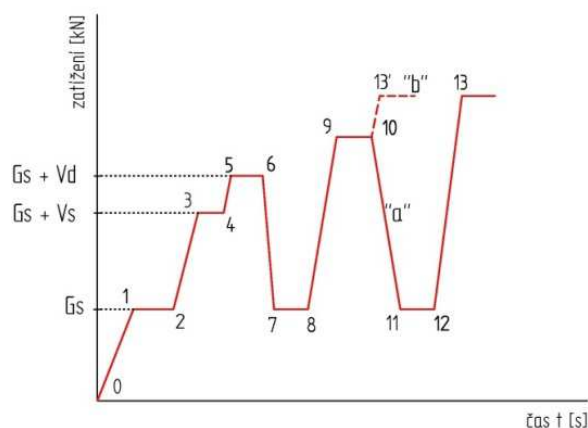
Níže popsáný zatěžovací postup je znázorněn na obrázku č. 25 [6].

- a) Konstrukce, která je při začátku zkoušky zatížena vlastní tíhou, popřípadě tíhou zkušebního zařízení se zatíží na hodnotu  $G_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého zatížení (bod 1).
- b) Po ustálení přetvoření (bod 2) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_S$ , která odpovídá provozní hodnotě stálého a nahodilého zatížení (bod 3).
- c) Po ustálení přetvoření (bod 4) se zatížení zvýší na hodnotu  $G_S + V_d$ , která odpovídá součtu provozní hodnoty stálého zatížení a extrémní hodnoty nahodilého zatížení (bod 5).
- d) Po ustálení přetvoření (bod 6) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 7).
- e) Po ustálení přetvoření (bod 8) se zatížení zvýší na hodnotu, která je podle povahy případu o 10 až 20 % vyšší než hodnota  $G_S + V_d$  (bod 9).
- f) Po ustálení přetvoření (bod 10) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_S$  (bod 11) a opět se zjistí velikost přetvoření (bod 12 - větev „a“)
- g) Při dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 až 12 s tím, že při každém zatěžovacím cyklu se zatížení zvýší o dalších 10 až 20 % z hodnoty  $G_S + V_d$ .

V odůvodněných případech je možno zkoušku provést tak, že v bodě 10 se konstrukce neodlehčuje a zatížení se postupně při každém zatěžovacím stupni zvýší o 10 až 20% z hodnoty  $G_S + V_d$  (větev „b“) [6].

Zatěžovací postup při zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce se provádí podle základního zatěžovacího postupu. Dosažením únosnosti konstrukce je zkouška ukončena [6].

Zatěžovací postup při zkoušce bez dosažení únosnosti konstrukce se postupuje jen do bodu 8 dle základního zatěžovacího postupu, kdy je zkouška ukončena, nebo se opakuje se zpřísněnými kritérii [6].



Obr. 25: Základní zatěžovací postup

### 3.5.1.5 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Při vyhodnocení se zatěžovací zkoušky se zkoušená konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti. Při zatěžovací zkoušce, je zkoušená konstrukce spolehlivá z hlediska mezního stavu únosnosti splňuje-li zároveň tato kritéria [6]:

- Experimentální hodnota únosnosti je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$
- Při zatížení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S + V_d$  a následném odlehčení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_S$  (body 6 a 8 základního zatěžovacího postupu), je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením menší než  $\lambda_I$ .

Za dosažení únosnosti ocelové konstrukce při zatěžovací zkoušce se považuje [6]:

- Ztráta stability
- Neustálé přetváření konstrukce při konstantním zatížení
- Trhliny ve stycích a ostatních prvcích
- Prokluz třecích spojů
- U ohýbaných prvků průhyb větší než 1/50 rozpětí
- Jiná porušení konstrukce

Součinitel spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro prvky porušené ohybem:  $\gamma_{exp}=1,3$
- Pro prvky porušené tlakem popř. jinak:  $\gamma_{exp}=1,5$

Součinitel přetvoření  $\lambda_I$  pro ocelové konstrukce [6]:

- Pro svařované konstrukce  $\lambda_I = 0,10$
- Pro nýtované konstrukce  $\lambda_I = 0,12$
- Pro šroubované konstrukce  $\lambda_I = 0,10$

Mez únosnosti konzoly musí nastat při zatížení větším nebo rovno, výslednému maximálního provozního zatížení násobeného součinitelem spolehlivosti zkoušení  $Y_{exp}$ .

Při zatěžovací zkoušce vrcholové konzoly se dále vizuálně kontroluje usmýknutí konzoly na betonovém sloupu, celková deformace konzoly, olupování vrstvy zinku následkem deformací a praskliny ve svarových spojích.

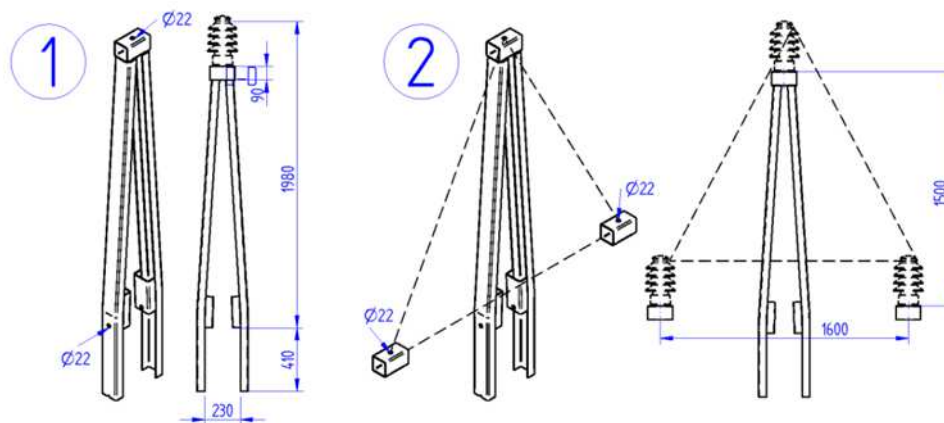
Výstupním dokumentem zatěžovací zkoušky je protokol o zkoušce únosnosti, který obsahuje veškerá naměřená data a vyhodnocení zkoušky.

Měřícím zařízením zatěžovací zkoušky je jeřábová váha typu OCS-A s výrobním číslem 1105-A3t-01, jejíž poslední kalibrace se provedla 8. 9. 2011 autorizovanou společností Lesák-Zeman.

## 4 Experimentální část

### 4.1 Návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Konzola musí splnit veškeré požadavky, které jsou uvedené v kapitole 3.2. Geometrie konzoly vychází z požadovaného rozměrového uspořádání vodičů na konzole.



Obr. 26: Návrh středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Střední rameno je konstruováno tak, aby drželo horní fázi linky VN ve výšce 1980 mm nad hlavou betonového sloupu. Středové rameno se skládá ze dvou jeklů tvaru U100x50x5, které jsou v horním konci přivařené k uzavřenému čtvercovému jecku 90x90x5, nazývanému hlavou. Hlava obsahuje průchozí otvor o průměru 22 mm, pro montáž nosného izolátoru šroubem M20. Dolní konce mezi sebou tvoří mezeru o velikosti 230 mm.

Střední rameno se může mírně roztahovat a stahovat na průměr hlavy betonového sloupu od 180 do 250 mm, aniž by docházelo k popraskání svarových spojů. Z vnitřní strany středového ramena jsou navařené podpěry, které se budou shora opírat o hlavu sloupu, zároveň budou sloužit jako držáky plastové čepice, zabraňující zatékání do vnitřní dutiny sloupu. Skrze podpěry a středové rameno bude procházet průchozí otvor o průměru 22 mm, pro svorník M20.

Konstrukce bočních ramen musí splnit požadovanou vertikální i horizontální mezifázovou vzdálenost mezi vodiči, viz obrázek č. 23 v kapitole 3.2.3.3. Tvarově výhodné je použít v místě upnutí bočních nosných izolátorů stejný prvek jako na horním konci středního ramena. Boční rameno je složeno ze třech dílů. Aby byla co nejlehčí a jejich výroba co nejjednodušší, použijí se uzavřené čtvercové ječky 100x100x3, které se řezou pod úhlem 45°.



3

Ø22

Ø80

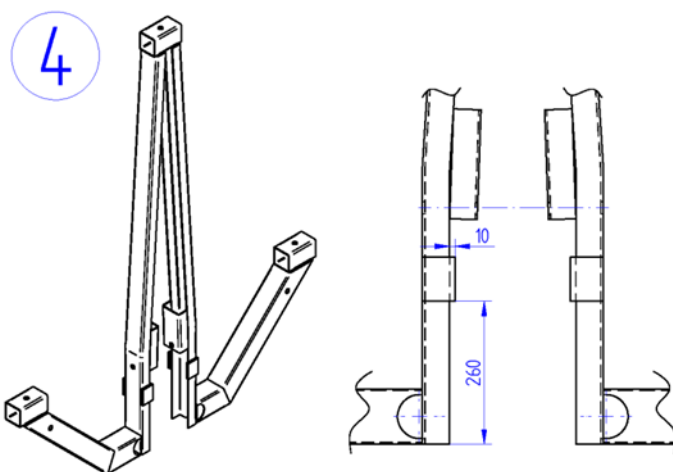
45°

45

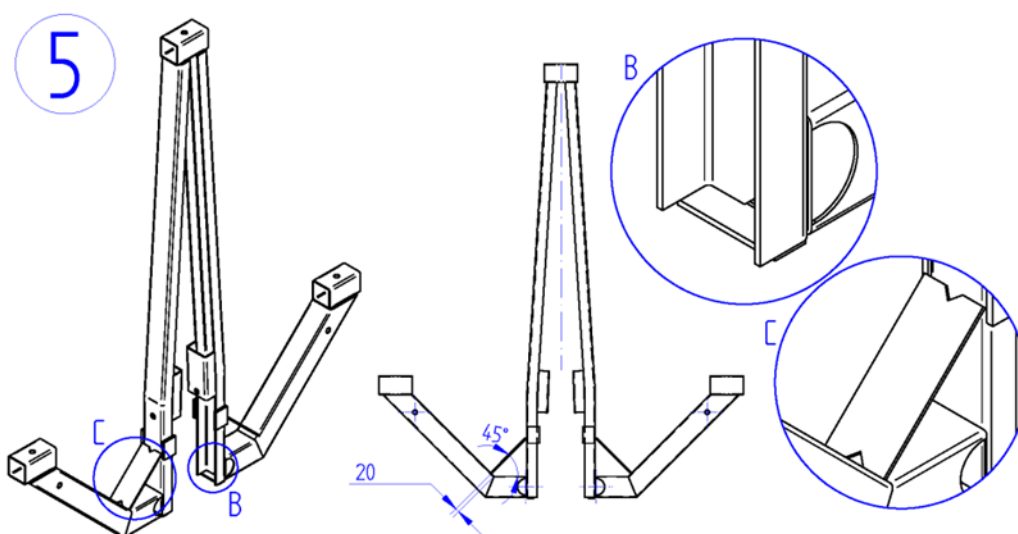
A

prostřih  
Ø80x135

Na středové rameno jsou navařené čtyři opěrné desky, které plní funkci zařezávání do betonového sloupu. Desky vystupují 10 mm od středového ramena a jsou vzdálené od spodní části konzoly 260 mm, aby se konzola ve spodní části dotýkala konického sloupu.



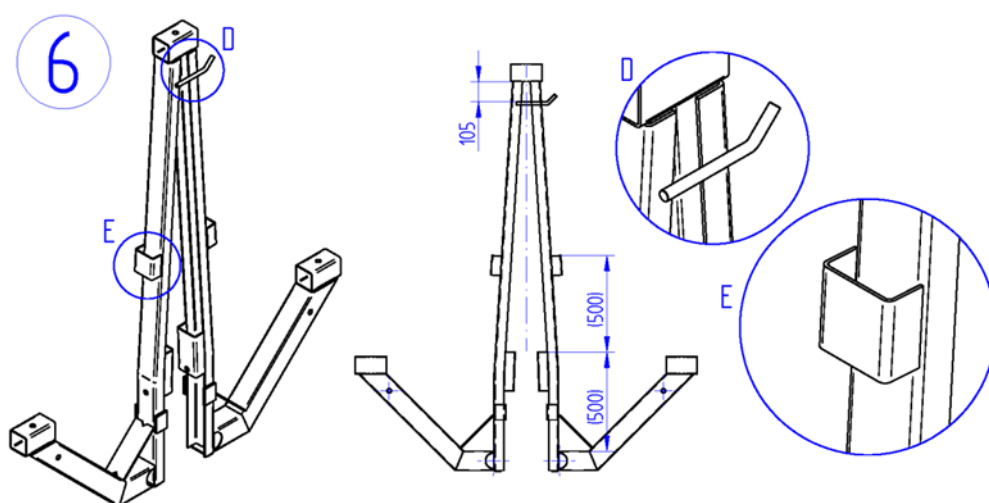
Strana 51



Obr. 29: Návrh výztuhy bočních ramen PARÁT-III-JB-N

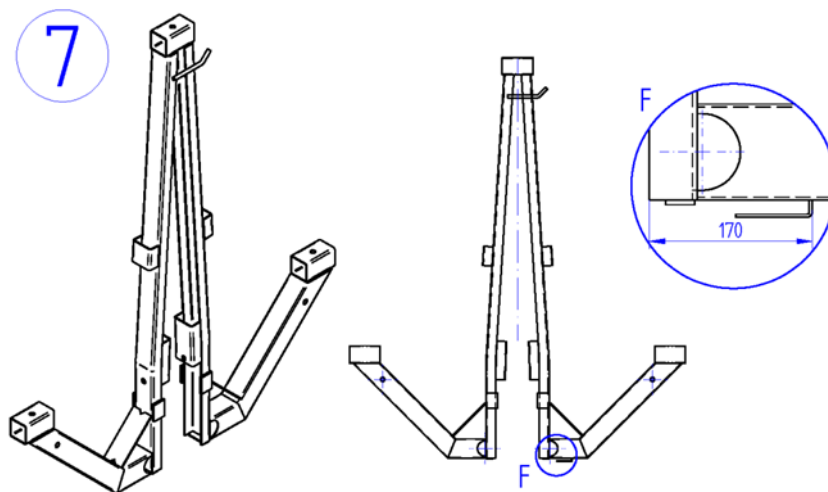
Na vnější strany středového ramena jsou navařeny držáky stupaček, do nichž se zasunují montážní stupačky přizpůsobeného tvaru, viz detail E na obrázku č. 32. Koncepte výstupu na konzoly je tvořena systematicky tak, aby každá další nášlapná plocha tvořila krok maximálně po 500 mm. Montér, který se postaví na montážní stupačku, zasunutou v držáku stupačky, má izolátory v úrovni ramen.

Konzola musí splnit bezpečnost práce ve výšce. Podle ustanovení §50, vyhlášky č. 324/90 Sb., musí být pracovník zajištěn proti pádu osobním zajištěním (bezpečnostním postrojem). K tomu slouží kotevní úchyt, za který lze zakotvit karabinu. Volný konec kotevního úchyty je navíc ohnutý směrem nahoru a tvoří žlábek, do kterého lze dočasně položit vodič z horní fáze při výměně izolátoru viz detail D na obrázku č. 30.



Obr. 30: Návrh držáku stupačky a kotevního úchyty PARÁT-III-JB-N

Každá konzola vysokého napětí musí obsahovat přípojně místo pro uzemnění. Společnost ES řeší přípojně místo navařeným tvarovaným zemnicím páskem o velikosti profilu 30x3 viz obrázek č. 31. Uzemnění se provede přivedením hlavního ochranného vodiče (FeZn 30/4) na zemnicí pásek a sevření křížovou svorkou.



Obr. 31: Návrh přípojného místa pro uzemnění PARÁT-III-JB-N

Konzola PARÁT-III-JB-N v této fázi splňuje všechny konstrukční požadavky a je zapotřebí ověřit její pevnost a funkčnost.

## 4.2 Pevnostní analýza Solid Edge – Simulation

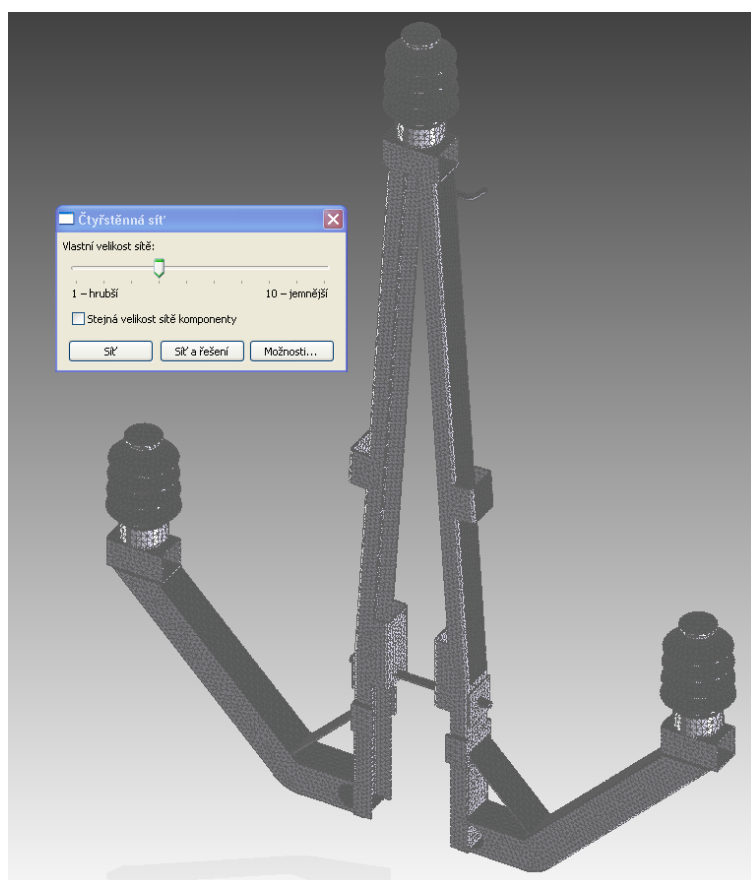
V režimu sestavy (assembly) základního modeláře Solid Edge ST4 je vytvořena konzola PARÁT-III-JB-N. Konzola v režimu sestavy obsahuje velké množství nevyhnutelných ostrých přechodů mezi jednotlivými tvary dílců, ve kterých se koncentruje napětí. V režimu sestavy je navíc velice obtížné modelovat objemy svarů, které tyto ostré přechody zmírní. Pevnostní analýza neumí řešit usmýknutí konzoly na konickém betonovém sloupu, bude proto použita pouze jako nástroj pro zjištění napětí a deformace v konzole.

Pro získání přesnějších výsledků je vytvořen náhradní jednodílný model konzoly v režimu „part“, ve kterém se zaoblí přechody mezi díly. Zaoblení bude zároveň představovat v některých místech i koutové svary. Za účelem zrychlení výpočtu se v analýze nezohlední stavitelná třmenová objímka. Konzole jsou odebrány všechny stupně volnosti na plochách opěrných destiček, kde jsou ve skutečnosti zařízle do betonového sloupu. Druhé omezení je provedeno na spodních plochách profilů, které se ve skutečnosti opírají o betonový sloup. Svorník, který svírá nad hlavou sloupu středové rameno, je pro zjednodušení výpočtu nahrazen navařenou tyčí stejného průměru. Pevnostní analýzy se provedly v krocích podle tabulky č. 11.

Ve všech analýzách je zohledněno působení gravitační síly  $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a teplota okolí  $T=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 11 – Program pevnostních analýz konzoly PAŘÁT-III-JB-N

| Číslo analýzy | Popis zkoušky                                                                    | Velikost a směr provozní zatížení   |                                                                  |                                                                        |                                                                 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|               |                                                                                  | Zatížení vodičem<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>kotevního úchytu<br>(odloženým vodičem)<br>F1, F2, F3 [kN] | Zatížení<br>Držáku stupáčky<br>(pracovníkem)<br>F1, F2, F3 [kN] |
| A-01          | zatížení bočního ramena vodičem                                                  | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-02          | zatížení středního ramena vodičem                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-03          | zatížení všech třech ramen vodiči                                                | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-04          | zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem                                  | 0                                   | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-05          | zatížení kotevního úchytu odloženým vodičem                                      | 0                                   | 0                                                                | 0, 0, 7                                                                | 0                                                               |
| A-06          | zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka                                        | 0                                   | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |
| A-07          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení kotevního úchytu zavěšeným pracovníkem | 3, 3, 7                             | 0, 0, 1,5                                                        | 0                                                                      | 0                                                               |
| A-08          | zatížení všemi třemi vodiči<br>+ zatížení držáku stupáčky tíhou pracovníka       | 3, 3, 7                             | 0                                                                | 0                                                                      | 0, 0, 1,5                                                       |



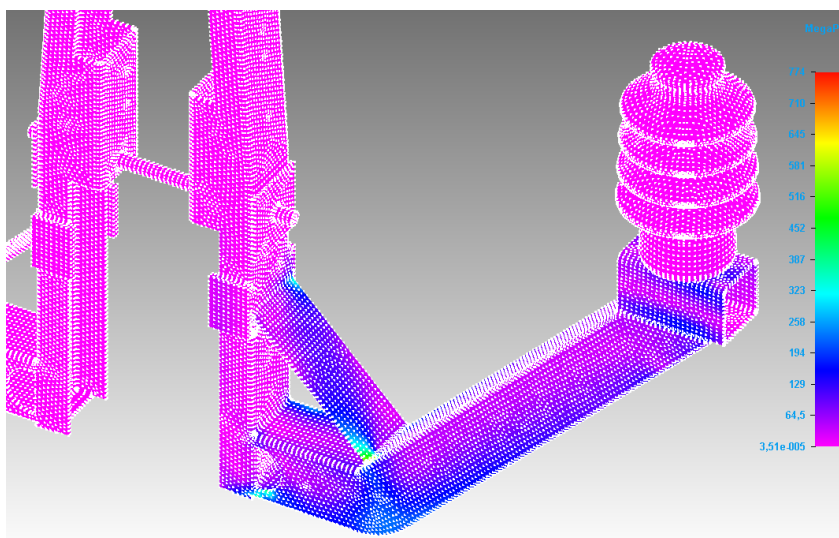
Obr. 32: Výpočtový model konzoly PAŘÁT-III-JB-N

U všech analýz se nastavil typ studie na lineární statiku. Výpočtový model je složen z čtyřstěnného typu sítě viz obr. 32. Síť modelu obsahuje 118 186 elementů a 220 845 uzlů. Subjektivní velikost sítě byla stanovena na velikost 4 (stupnice 1-10, 10 - nejjemnější). Modelu byl přiřazen materiál S235JR se stanovenou minimální mezí kluzu  $R_e=235$  MPa a mezí pevnosti  $R_m=360$  MPa. Model obsahuje podpěrné izolátory typu VPA, v jejichž krčkách jsou připevněné vodiče. Z těchto krčků budou působit jednotlivé síly provozního zatížení do příslušných směrů. Z praxe je zjištěno, že síla F2 je rizikovější při působení směrem od osy sloupu ven. V analýze A-01 se proto směr této síly respektuje, kdežto v analýze A-03, A-07 a A-08 bude na jednom bočním ramenu působit síla F2 od sloupu a na druhém bočním ramenu k ose sloupu. Keramické izolátory VPA figurují v analýze jako dokonale tuhé prvky.

Analýza A-01 samostatně zatíženého bočního ramena maximálním provozním zatížením vykazovala i přes veškerou snahu vymodelovat co nejhladší přechody mezi jednotlivými díly sestavy mnoho míst s výskytem zvýšené koncentrace napětí (vruby). V těchto místech je výrazně překročena mez kluzu. Při porovnání nejvyšší naměřené hodnoty napětí s vypočtenou návrhovou únosností základního materiálu (nebo návrhovou únosností koutového svarového spoje), se tyto špičky napětí v centrech výskytů vrubů pominou. Nejvíce namáhanými místy bočního ramena je spoj mezi výztuhou a šikmým ramenem, a také spoj mezi profilem středního ramena a výztuhou. Vysoká koncentrace napětí je i ve spodní části prostřihu bočního ramena.

Výsledky pevnostní analýzy A-01:

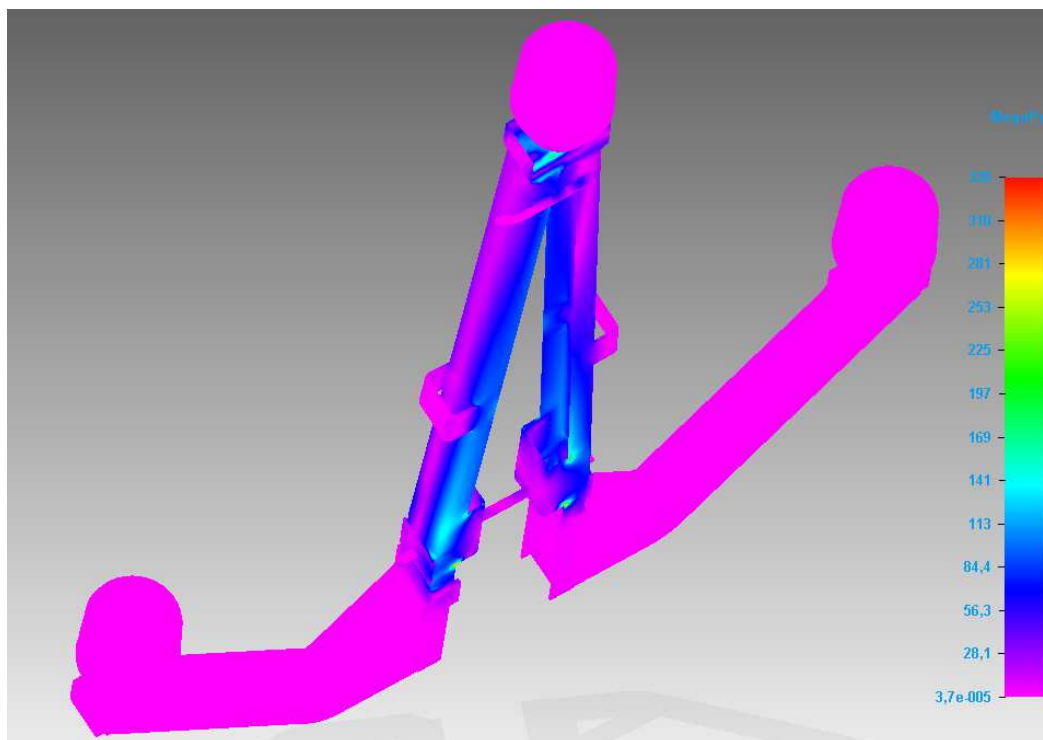
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 774 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku izolátoru: 12,7 mm



Obr. 33: Analýza napětí A-01

Výsledky pevnostní analýzy A-02:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 338 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 145 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm



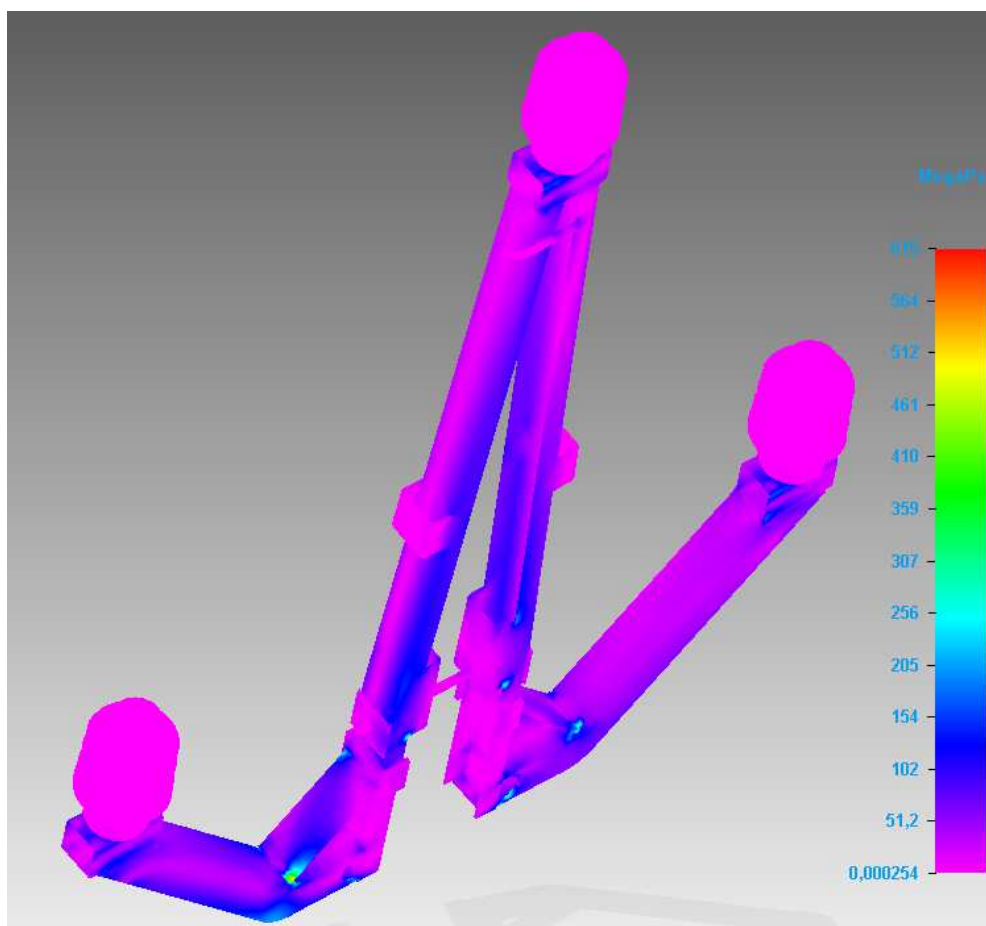
Obr. 34: Analýza napětí A-02

Z výsledků analýzy A-02 (obrázek č. 34) je patrné, že střední rameno není zdaleka tak namáhané jako rameno boční, vyplývá to z použitých silnějších profilů. Střední rameno je složeno ze dvou otevřených jeklů U100x50x5, kdežto boční rameno je pouze z jednoho čtvercového uzavřeného jeklu 100x100x3. Velký význam má i síla ve směru F3, která ve středovém rameni působí do osy sloupu a namáhá rameno pouze na tzv. vzpěr, kdežto u bočního ramena tato síla tvoří velký ohybový moment. Středové rameno je delší než boční a proto dovoluje i větší průhyb, aniž by se překročila mez kluzu materiálu. Z výsledků A-01 a A-02 je dále zajímavé, že napjatost zatíženého bočního ramena téměř nezasahuje do středového ramena a naopak. Z toho plyne, že boční a střední rameno tvoří dva nezávislé okruhy, které se mohou řešit téměř individuálně.

Výsledky pevnostní analýzy A-03:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí krčku horního izolátoru: 17,4 mm

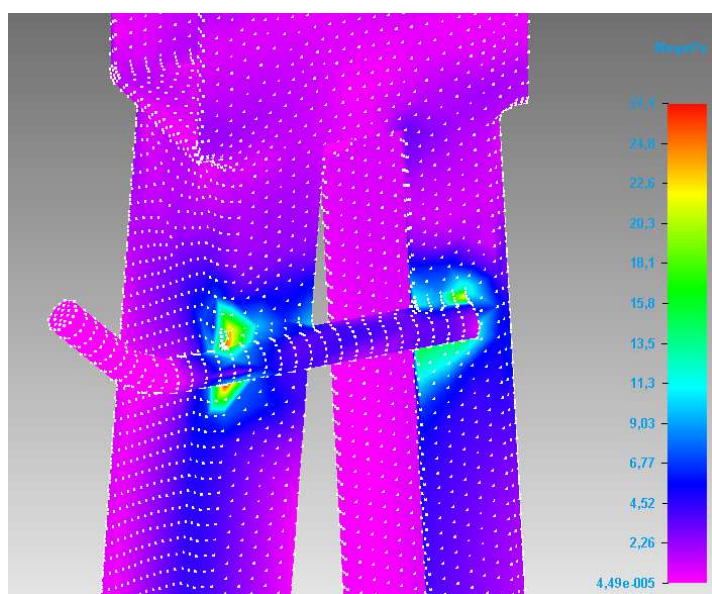




Obr. 35: Analýza napětí A-03

Výsledky pevnostní analýzy A-04:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 27,1 MPa
- Maximální posunutí kotevního úchytu: 0,331 mm

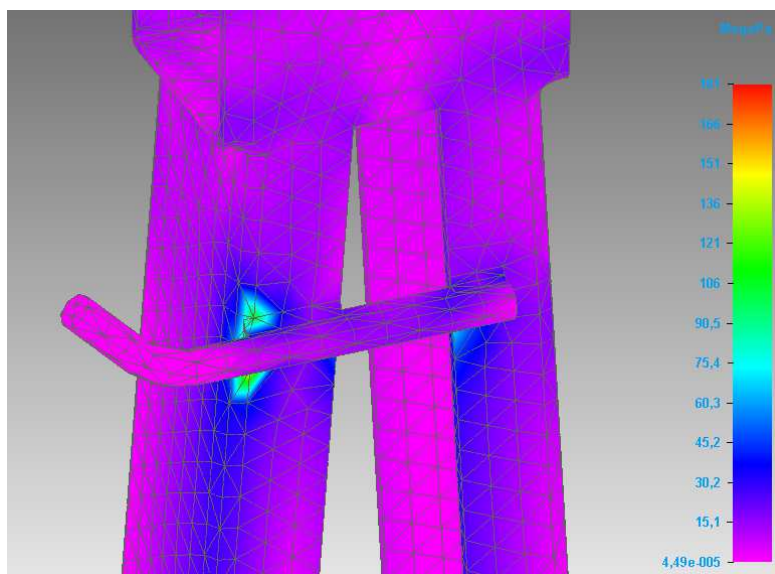


Obr. 36: Analýza napětí A-04

Při osobním zajištění pracovníka o maximální hmotnosti 150 Kg, je vyvinuta na kotevní úchyt síla o velikosti 1,5kN, působící vertikálně ve směru gravitační síly. Z výsledků analýzy A-04 na obrázku č. 36 je patrné, že kotevní úchyt z tvarované tyče o průměru 16mm je dimenzován pro tento účel dostatečně.

Výsledky pevnostní analýzy A-05:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 181 MPa
- Maximální posunutí volného konce kotevního úchytu: 1,12 mm



Obr. 37: Analýza napětí A-05

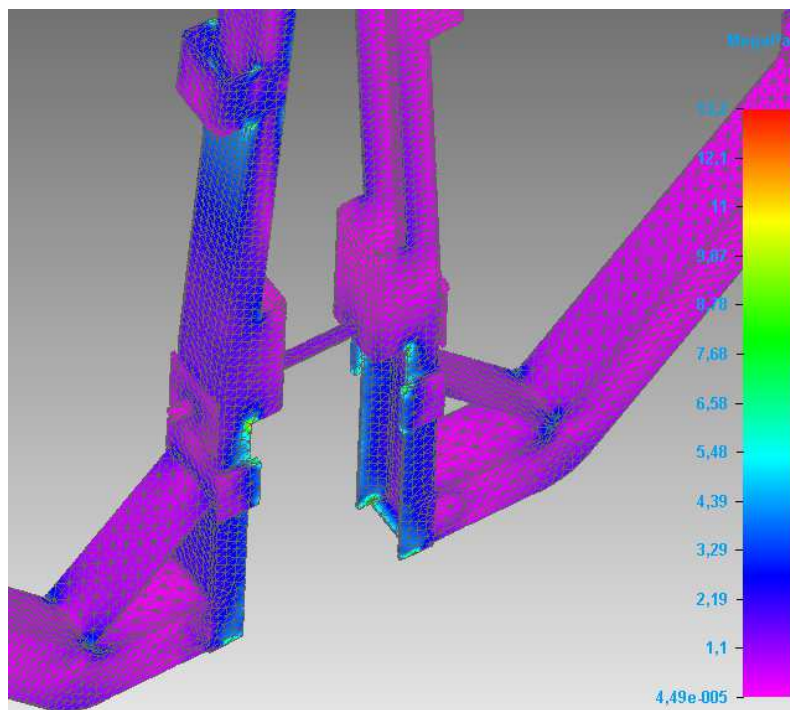
Kotevní úchyt plní ještě druhou funkci, jeho zahnutý volný konec tvoří otevřený hák, do kterého se při výměně poškozeného izolátoru dočasně odkládá vodič. Volný konec kotevního úchytu může být zatížen maximální silou  $F_3=7\text{kN}$ . (V praxi tento vodič při výměně nebude omrzlý, námraza se shazuje). Ostatní síly se neuvažují. Výsledek analýzy napětí A-05 zatíženého kotevního úchytu odloženým vodičem je na obrázku č. 37.

V analýze A-06 se zatížil držák stupačky vertikální silou  $F_3=1,5\text{ kN}$ , od hmotnosti pracovníka 150 Kg. Tato síla vyvolává napětí o velikosti 13,2 MPa. Napjatost způsobuje zanedbatelně velikou deformaci 0,09 mm, viz obr. 38.

Výsledky pevnostní analýzy A-06:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises: 13,2 MPa
- Maximální posunutí: 0,09 mm





Obr. 38: Analýza napětí A-06

Analýza A-07 (obr. 39) simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-04, která je sice v praxi téměř vyloučená, ale pro zajímavost je zde uvedena. Při uvažované výměně izolátoru je jisté, že před výstupem pracovníka na konzolu se případná námraza na vodičích z okolních polí shodí, tím klesnou hodnoty tíhy vodičů F3. Při extrémních nahodilých zatížení v podobě silného větru se navíc takovéto práce z bezpečnostního hlediska nevykonávají.

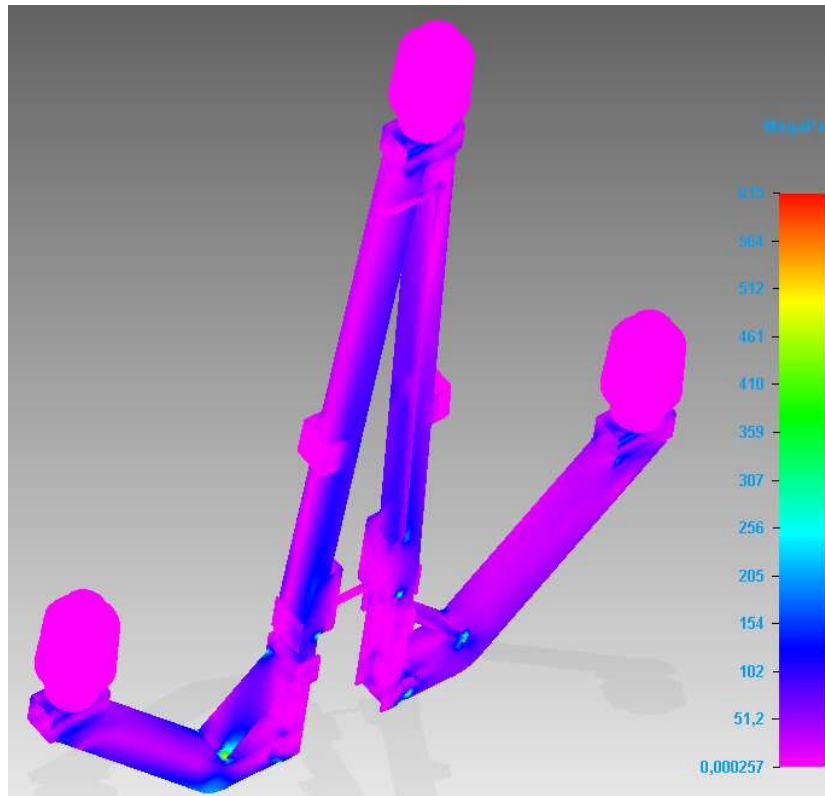
Výsledky pevnostní analýzy A-07:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,7 mm

Poslední analýza A-08 simuluje kombinaci zatížení A-03 a A-06, která je rovněž v praxi vyloučená. Pracovník bude na konzolu vystupovat kvůli výměně izolátoru až po opadané námraze na vodičích ze sousedních polí. Silný vítr je nepřipustný.

Výsledky pevnostní analýzy A-08:

- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (v centrech vrubů): 615 MPa
- Nejvyšší naměřené napětí von Mises (mimo centra vrubů): 195 MPa
- Maximální posunutí v krčku horního izolátoru: 17,4 mm



Obr. 39: Analýza napětí A-07

Po provedení analýz jsou známy hodnoty posunutí (přetvoření) a napjatost konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Nyní zbývá vypočítat dovolené návrhové únosnosti jak použitého základního materiálu S235, tak i materiálu svarového kovu koutových svarových spojů.

### 4.3 Výpočet návrhové únosnosti

#### 4.3.1 Výpočet návrhové únosnosti materiálu S235JR

Návrhová únosnost použitého základního materiálu konstrukce S235JR se vypočte podle vztahu (3.8). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_M$  je zvolen podle normy ČSN EN 1993-1-1.

- Návrhová únosnost materiálu S235:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{235}{1,00} = 235 \text{ MPa}$$

kde je:

- dolní mez kluzu oceli S235JR:  $R_k=235 \text{ [MPa]}$
- dílčí součinitel spolehlivosti materiálu:  $\gamma_M=1,00 \text{ [-]}$

### 4.3.2 Výpočet návrhové únosnosti koutového svaru

Návrhová únosnost koutových svarových spojů se vypočte podle vztahu (3.10). Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  $\gamma_{M2}$  a korelační součinitel  $\beta_w$  jsou zvoleny podle normy ČSN EN 1993-1-8.

Návrhová pevnost koutového svaru ve smyku:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207 \text{ MPa}$$

kde je:

- |                                                       |                        |
|-------------------------------------------------------|------------------------|
| - jmen. hodnota meze pevnosti v tahu pro ocel S235JR: | $f_u=360$ [MPa]        |
| - korelační součinitel pro ocel S235:                 | $\beta_w=0,8$ [-]      |
| - dílčí součinitel spolehlivosti (únosnosti svaru)    | $\gamma_{M2}=1,25$ [-] |

## 4.4 Ověření funkčnosti

Podle výrobní dokumentace konzoly PAŘÁT-III-JB-N (příloha č. 3 až 19) byl vyroben reálný prototyp, na kterém se provedla zatěžovací zkouška únosnosti, podle metodiky ověřování funkčnosti ve společnosti ES. Zatěžovací zkouška únosnosti je řízena normou ČSN EN 73 2030.

### 4.4.1 Příprava zatěžovací zkoušky únosnosti

Prototyp konzoly PAŘÁT-III-JB-N se upnul na zkrácený betonový sloup, umístěný ve zkušebním polygonu. Vzhledem k omezenému počtu měřicího zařízení (jeřábová váha – 1 kus) a k omezenému nastavení směru provozního zatížení na zkušebně, se musela provést určité opatření.

- Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil.

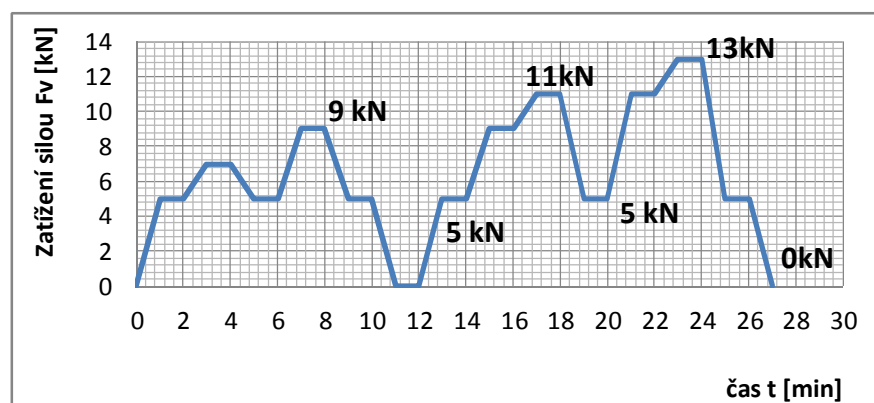
$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 7^2} = 8,2 \text{ kN}$$

- Konzola se umístila spolu s kladkami tak, aby natažené lano od izolátoru příslušného ramena směrem ke kladce simulovalo směr výsledného zatížení  $F_v$ .
- Není umožněno zatěžovat všechny tři ramena najednou, zkoušky únosnosti se proto rozdělí na jednotlivé etapy, ve kterých se bude měřit pouze jedno příslušné místo.

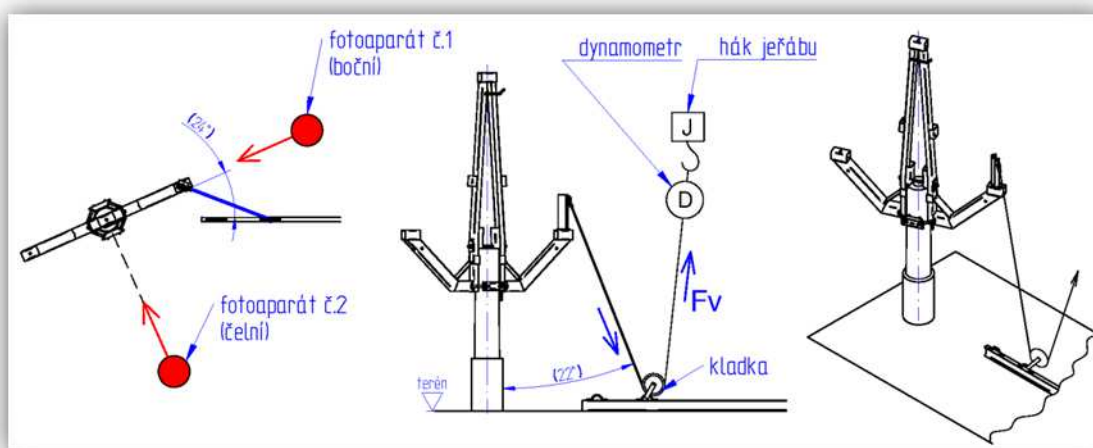
Podle výsledků pevnostní analýzy v softwaru Simulation, je důležité se zaměřit především na zatížení bočního ramena a středního ramena. Zatěžovací zkoušku únosnosti kotevního úchyty a držáku stupačky lze s ohledem na přesvědčivé výsledky pevnostní analýzy zanedbat.

#### 4.4.2 Zatěžovací zkouška únosnosti bočního ramena

Zatěžovací zkouška bočního ramena se připravila podle obrázku č. 41, samotný proces zatěžování se provedl podle zatěžovacího diagramu na obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 18 °C.



Obr. 40 – Zatěžovací diagram zkoušky únosnosti bočního a středního ramena



Obr. 41: Pracoviště zatěžovací zkoušky bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Vizuální kontrola bočního ramena při maximálním provozním zatížení  $F_v=9$  kN, nevykázala v okolí svarových spojů žádné praskliny ani trhliny. Na profilech konzoly nevzniklo žádné boulení stěn ani viditelný ohyb ramena. Dále se kontrolovalo usmýknutí třmenové objímky na hlavě betonového sloupu, které se neprojevovalo.

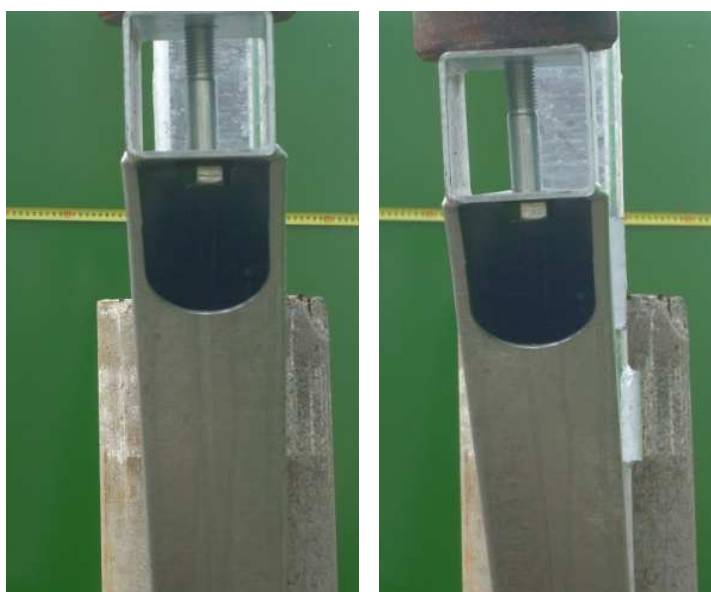
Boční rameno se proto zatížilo na hodnotu  $F_v=11$  kN (nenastaly viditelné deformace) a po odlehčení až na  $F_v=13$  kN. Při zatížení  $F_v=13$  kN se viditelně začala odlupovat vrstva zinkového povlaku v okolí svarových spojů. Opěrné desky se silně zařízly do betonového sloupu. U bočního ramena došlo k viditelnému ohybu profilů. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN se rameno nevrátilo do původní polohy, proběhly nepřijatelné trvalé deformace. Mez únosnosti nastala při zatížení v rozsahu od 12 do 13 kN, uvažovat se bude spodní hranice.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{v\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

V normě ČSN 73 2030 se požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP}=1,3$ , pokud se konstrukce deformuje jinak, platí  $\gamma_{EXP}=1,5$ . Jediný viditelný následek napjatosti byl ohyb profilů bočního ramena, proto platí  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení.

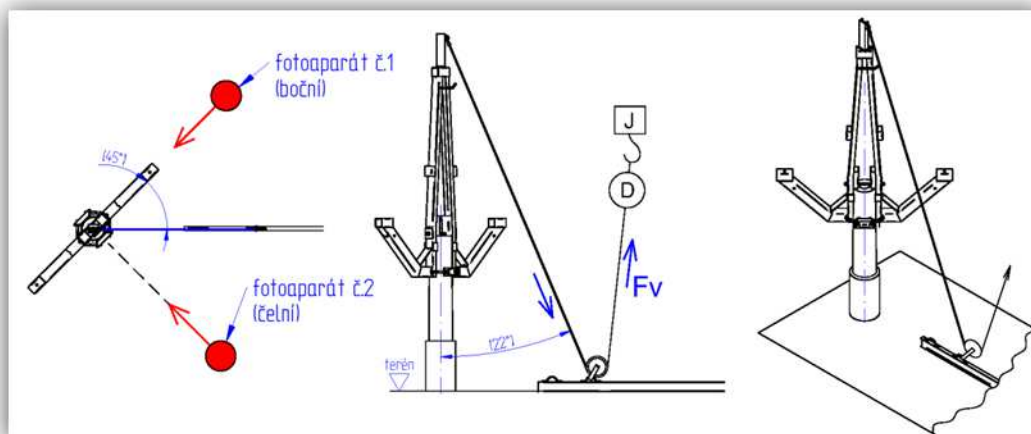
Na obrázku č. 42 je zachyceno přetvoření bočního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti. Měření velikosti maximálního prostorového přetvoření se pro obtížnost neprovedlo, navíc se mírně naklonil i samotný zkušební sloup, který nebyl dokonale ukotven v základové patce.



Obr. 42: Přetvoření bočního ramena: vlevo – při  $F_v=9$  kN, vpravo – při  $F_v=13$  kN

#### 4.4.3 Zatěžovací zkouška únosnosti středního ramena

Zatěžovací zkouška středního ramena se připravila podle obrázku č. 43, proces zatěžování se provedl podle stejného zatěžovacího diagramu jako u bočního ramena podle obrázku č. 40. Venkovní teplota dosáhla podle orientačního měření 19 °C.



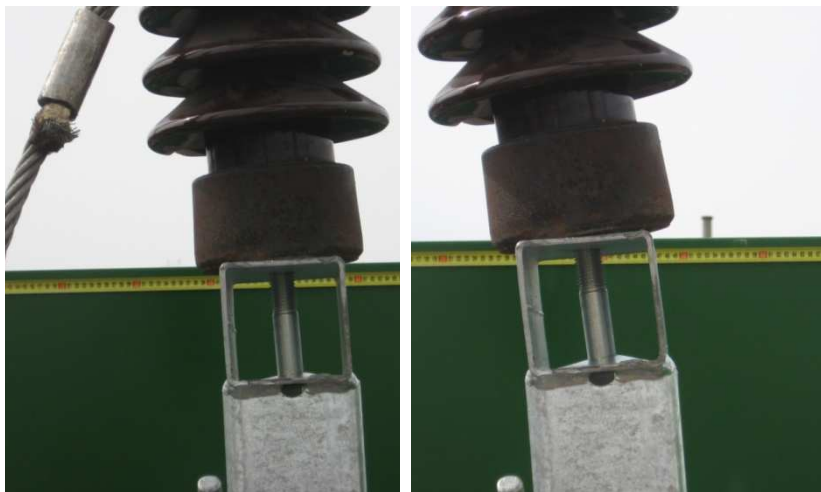
Obr. 43: Pracoviště zatěžovací zkoušky středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Na středním rameni nevznikly při zatížení  $F_v=13$  kN žádné viditelné trvalé deformace. Konzola se ovšem začala mezi hodnotami zatížení 13 a 14 kN usmýkat na betonovém sloupu. Po odlehčení na  $F_v=0$  kN, konzola vykázala drobný ohyb profilů středového ramena. Bude se proto uvažovat mez únosnosti při zatížení o velikosti 13 kN.

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N.

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V\max}(\text{únosné})}{F_v(\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Střední rameno splňuje požadovanou minimální spolehlivost zkoušení  $\gamma_{EXP}=1,3$ . Na obrázku č. 44 je zachyceno přetvoření středního ramena při maximálním provozním zatížení a při mezním stavu únosnosti.



Obr. 44: Přetvoření středního ramena: vlevo – při  $F_v=9\text{kN}$ , vpravo – při  $F_v=14\text{kN}$

## 5 Vyhodnocení výsledků

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly PAŘÁT-III-JB-N. Následně se stanovily hodnoty návrhové únosnosti použitého materiálu a provedla se pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation. Poté se vyrobil reálný prototyp konzoly, na kterém proběhla zatěžovací zkouška únosnosti. Výsledky těchto úkonů byly vyhodnoceny v následujících kapitolách.

### 5.1 Vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy

Na výpočtovém modelu bylo provedeno osm pevnostních analýz, viz tabulka č. 12. Nejdůležitější jsou však výsledky napětí analýzy A-03, ve které se konzola zatížila maximálním provozním zatížením všemi třemi vodiči najednou ( $F_1=F_2=3\text{kN}$  a  $F_3=7\text{kN}$ ).

Analýza napětí v A-03 odhalila na ostrých přechodech mezi geometrií některých dílů konzoly miniaturní oblasti s vysokou koncentrací napětí. Tyto nežádoucí oblasti se nazývají vruby a ve svařovaných ocelových konstrukcích tohoto typu jsou nevyhnutelné.

Vypočtené napětí, které se koncentruje na ostrých přechodech geometrie, je třeba brát pouze jako informativní (teoretické), ale nejsme schopni říct o kolik je nadhodnoceno [10]. Jak se vruby projeví na reálné konstrukci, ukáže zatěžovací zkouška únosnosti reálného prototypu

Tab. 12 – Souhrn výsledků pevnostních analýz v Solid Edge Simulation

| č. zkoušky                                        | A-01  | A-02  | A-03  | A-04 | A-05 | A-06 | A-07 | A-08 |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(v centrech vrubů) | 774   | 338   | 615   | /    | /    | /    | 615  | 615  |
| Max. napětí von Mises [MPa]<br>(mimo vruby)       | 195   | 145   | 195   | 27,1 | 181  | 13,2 | 195  | 195  |
| Posunutí (přetvoření) [mm]                        | 12,70 | 17,40 | 17,40 | 0,33 | 1,12 | 0,09 | 17,7 | 17,4 |

Pomine-li se v analýze A-03 výskyt vrubů, bylo naměřeno v materiálu konzoly maximální napětí  $\sigma_{\max}=195\text{ MPa}$ .

Pro základní materiál S235JR musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{\max} \leq R_d$  (3.9).

Tato podmínka je splněna ( $\sigma_{\max} = 195\text{ MPa} \leq 235\text{ MPa}$ ).



Pro koutové svarové spoje musí být splněna ve všech příslušných místech konzoly pevnostní podmínka  $\sigma_{max} \leq f_{vw,d}$  (3.11). Tato podmínka je rovněž splněna ( $\sigma_{max} = 195 \text{ MPa} \leq 207 \text{ MPa}$ ).

## 5.2 Vyhodnocení výsledků zatěžovací zkoušky únosnosti

Provedení zatěžovací zkoušky únosnosti všemi třemi vodiči najednou nebylo umožněno, kvůli nedostatečnému vybavení zkušebny společnosti ES. Zkoušky únosnosti se proto rozdělily dvě etapy, v první se zatížilo boční rameno a ve druhé rameno střední. Provozní zatížení  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  se vektorově sečetlo do jednoho výsledného zatížení  $F_v$ , působící do směru výslednice součtu těchto sil viz kapitola 4.4.1.

Výsledek zkoušky únosnosti bočního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{12,0}{8,2} = 1,46$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Boční rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,46$ .

Výsledek zkoušky únosnosti středního ramena konzoly PAŘÁT-III-JB-N:

$$\gamma_{EXP} = \frac{F_{V \max} (\text{únosné})}{F_v (\text{provozní})} = \frac{13,0}{8,2} = 1,58$$

Norma ČSN 73 2030 požaduje pro ocelové konstrukce deformované ohybem  $\gamma_{EXP} \geq 1,3$ . Střední rameno splňuje požadovanou spolehlivost zkoušení,  $\gamma_{EXP} = 1,58$ .

Výsledky zatěžovací zkoušky únosnosti potvrdily výsledky pevnostních analýz. Konstrukce se ve vrubech ve skutečnosti nedeformovala i přesto, že pevnostní analýza označila tyto místa za nevyhovující, protože se v nich překročila stanovená návrhová únosnost materiálu. Naopak daleko dříve se začala konzola trvale deformovat v okolí těchto vrubů.

### **5.3 Vyhodnocení konzoly PAŘÁT-III-JB-N**

Konzola PAŘÁT-III-JB-N vyhovuje všem zákonnými, konstrukčním i pevnostním požadavkům. Únosnost konzoly je dimenzována na maximální provozní zatížení, které je cca 1,5x větší, než zatížení které může v provozu nastat. V praxi se navíc ukázalo, že maximální provozní zatížení je pouze ojedinělý jev.

Konzola PAŘÁT-III-JB-N podle pověřené agentury AOPK snížila riziko úhynu volně žijícího ptactva na minimální úroveň, viz odborná stanoviska v přílohách č. 25 až 27. Tím se stala jedinou takto klasifikovanou konzolou v ČR.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout konzolu PAŘÁT-III-JB-N a následně ověřit její únosnost. Únosnost konzoly se ověřila jak pevnostní analýzou v softwaru Solid Edge Simulation, tak i zatěžovací zkouškou únosnosti podle stávající metodiky společnosti ES.

V experimentální části byl vytvořen návrh konzoly podle všech stanovených požadavků, na kterém se zrealizovala pevnostní analýza Simulation a zatěžovací zkouška únosnosti. Konzola PAŘÁT-III-JB-N pevnostně vyhověla u obou metod, ovšem pro komplexní posouzení funkčnosti nelze jednu před druhou upřednostnit.

Pevnostní analýza v softwaru Solid Edge – Simulation, rychle a objektivně posoudila napjatost a deformaci uvnitř materiálu. Při zjednodušení výpočtového modelu a jejich vazeb s betonovým sloupem zase nepřesně vyhodnotila reálné chování konzoly na betonovém sloupu a označila ostré přechody mezi jednotlivými díly za pevnostně nevyhovující, což může vyvolat řadu spekulací.

Zatěžovací zkouška únosnosti naopak kvalitně posoudila reálné chování konstrukce na betonovém sloupu, ale bez speciálních tenzometrických měřících zařízení neumožnila vyhodnotit napjatost uvnitř materiálu.

Při vhodné kombinaci těchto dvou nástrojů se může výrazně zkrátit čas určený pro návrh, stejně tak lze zamezit opakované výrobě nevyhovujících prototypů a v neposlední řadě lze optimalizovat sílu zvoleného materiálu. Tím lze ušetřit nemalé finanční prostředky a zvýšit kvalitu výrobku. Vzhledem k tomu, že tato pevnostní analýza je první bezprecedentní zkušeností společnosti ES s analytickým posuzováním únosnosti výrobku, bude se tato metoda ve firemním prostředí neustále rozvíjet a zdokonalovat.

Myšlenka provádět v budoucnosti kontrolu únosnosti konzol pouze analyticky v softwaru Solid Edge - Simulation není v tuto chvíli možná, protože společnost ES neumí správně vyhodnotit vlastnosti vyskytlých vrubů, kde dochází k vysoké koncentraci napětí a také nedokáže analyticky vyjádřit kontakty mezi ocelovými profily a betonovým konickým sloupem, což může být podnětem pro další zkoumání.

# Seznam literatury a internetových stránek

- [1] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. Brno: EGÚ Brno, a.s., 2008.
- [2] MENTL, V.; VLK, M.; ROTTER, T.; BARTÁK, J.: *Konstrukce a provedení*. Plzeň: 2011.
- [3] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN 73 2030. *Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí: Společná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] *Energetika servis s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2013-03-04].  
Dostupné z: <http://www.energetika-servis.cz/>
- [8] *AXIOM TECH* [online]. [cit. 2013-05-10].  
Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/>
- [9] *TVP group s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20].  
Dostupné z: <http://www.tpvgroup.cz/>
- [10] CAD III Pevnostní analýzy, Zdeněk konečný, Václav Krys, Ostrava 2007  
KONEČNÝ, Zdeněk a Václav KRYŠ. *CAD III - Pevnostní analýzy*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1513-8.
- [11] *Miniencyklopedie Elektřina*. [online]. 2003 [cit. 2013-10-04].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [12] *Technické normy společnosti E.ON ČR s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-01-04].  
Dostupné z: <http://ti.eon.cz/cs/normy/>

# Seznam příloh

Příloha č. 01 – Výkres č. 803-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N

Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.

Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB

Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru

Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava

Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB

Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.

Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P

Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky

Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska

Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemnicí pásek

Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pás

Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena

Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90

Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB

Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115

Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Těleso objímky JB

Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

Příloha č. 21 – Atest přídavného materiálu pro svařování

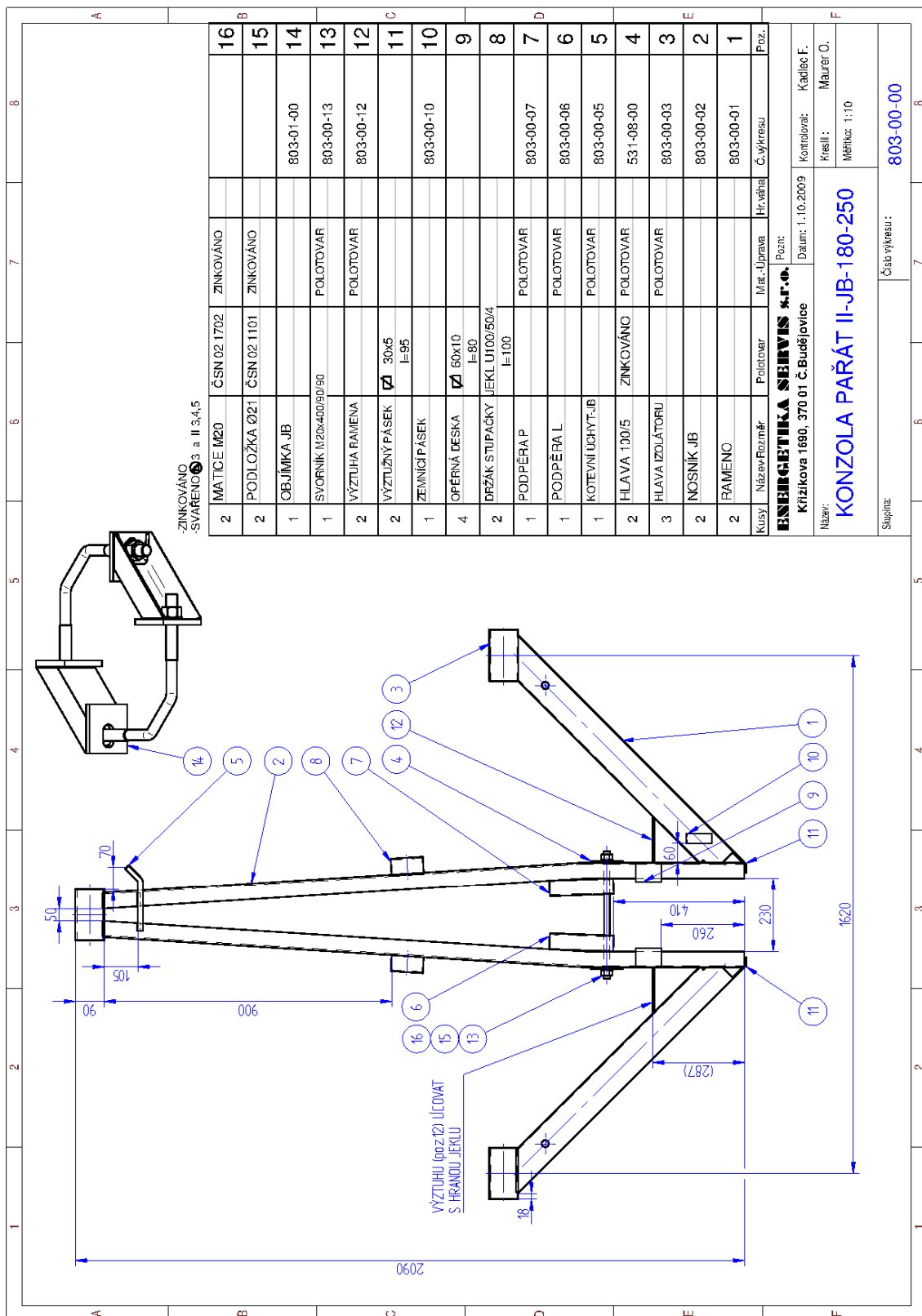
Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

Příloha č. 23 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.1/3

Příloha č. 24 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.2/3

Příloha č. 25 – Odborné stanovisko od AOPK na konzolu PAŘÁT-III-JB-N str.3/3

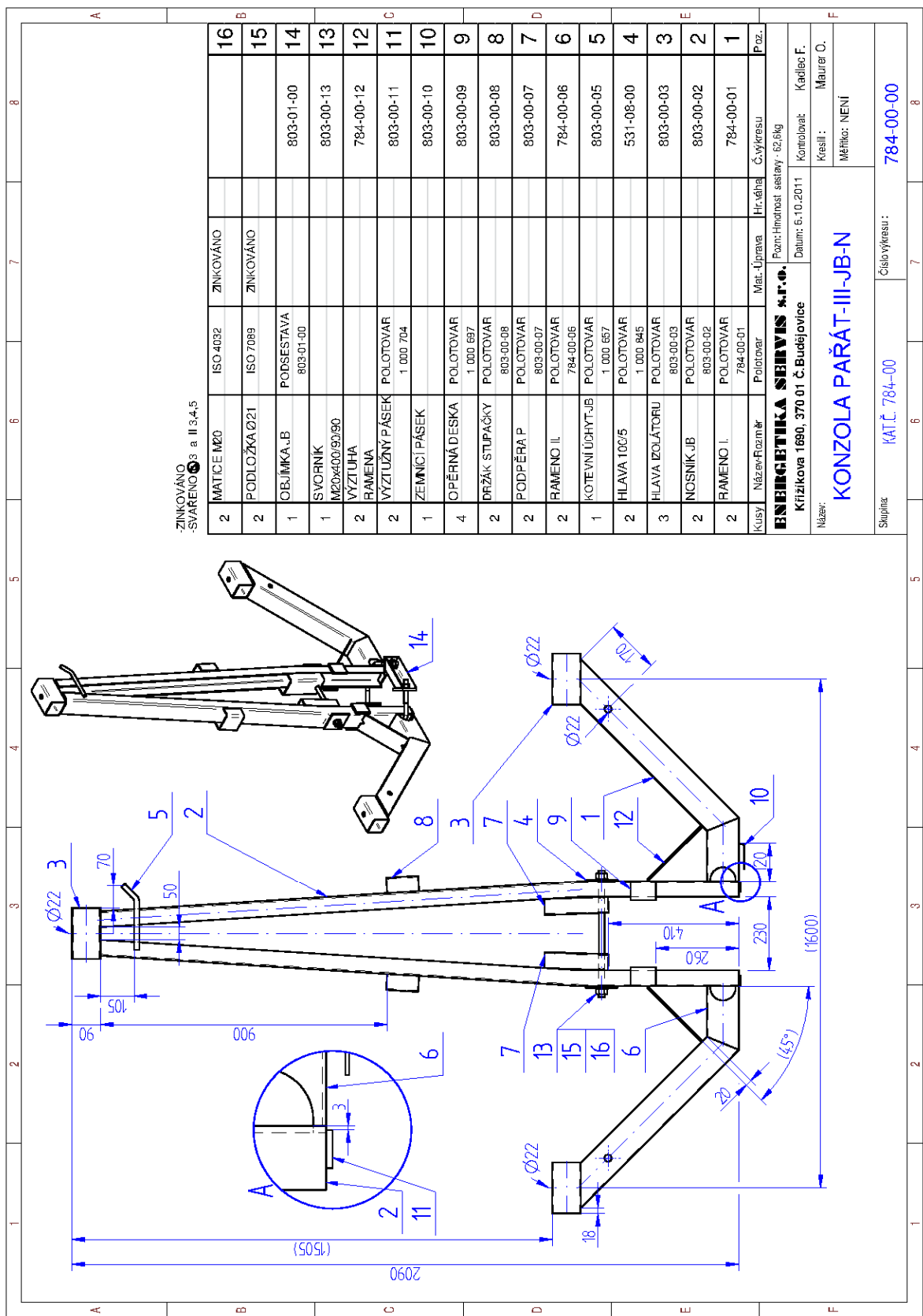
Příloha č. 01 – Výkres sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N



Příloha č. 02 – Díly sestavy konzoly PAŘÁT-II-JB-N

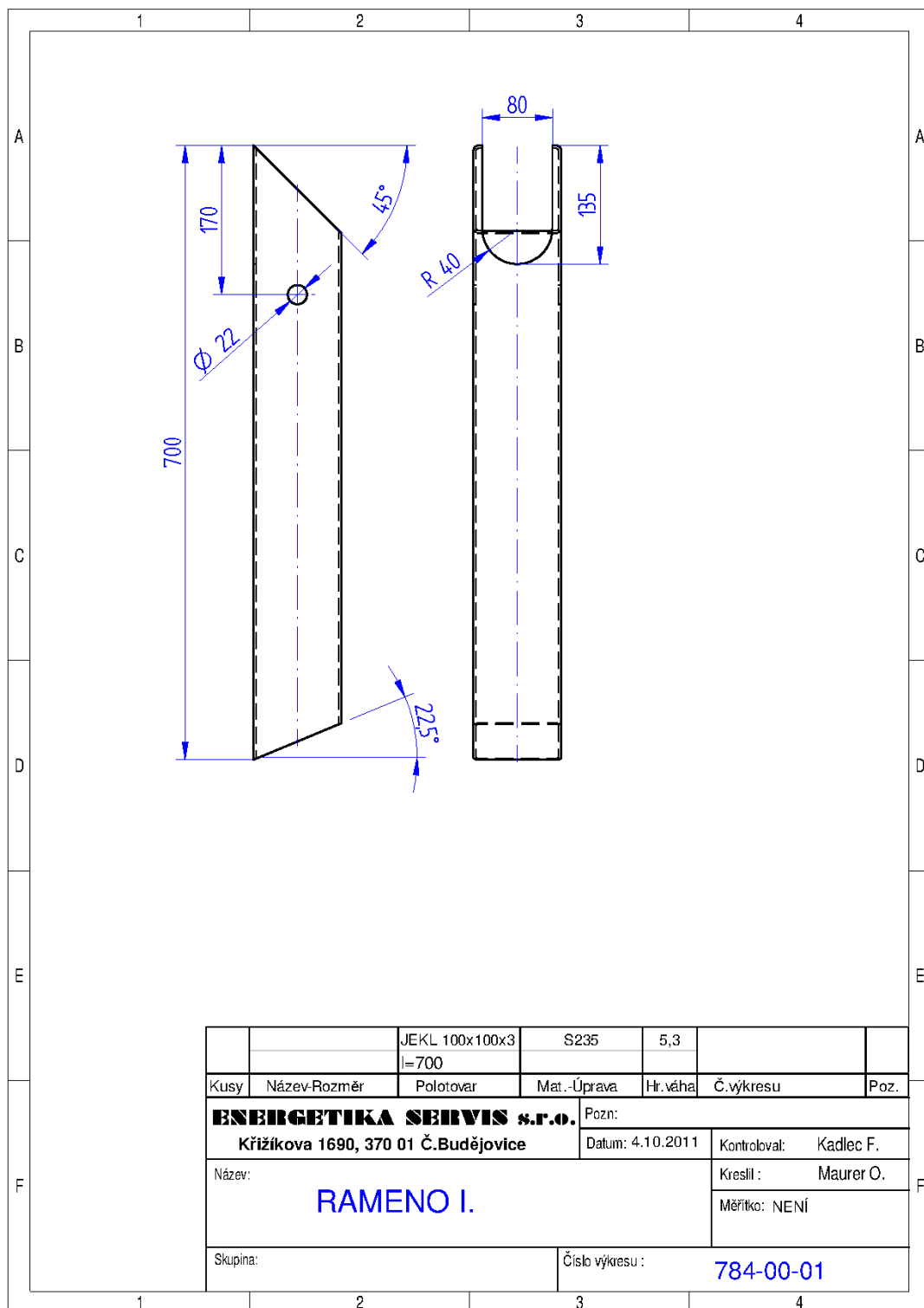
| Název dílu      | Polotovar                                     | Materiál | č. výkresu | Hmotnost | Počet ks v sestavě |
|-----------------|-----------------------------------------------|----------|------------|----------|--------------------|
| Rameno          | Profil TR 4HR100x100x3-1000<br>ČSN EN 10210-2 | S235 JRH | 803-00-01  | 8,1      | 2                  |
| Nosník JB       | Profil U 100x50x5-2000<br>ČSN 42 6963         |          | 803-00-02  | 14,3     | 2                  |
| Hlava izolátoru | Profil TR 4HR 90x90x5-1000<br>ČSN EN 10210-2  |          | 803-00-03  | 1,7      | 2                  |
| Hlava           | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 531-08-00  | 0,38     | 2                  |
| Kotev. úchyt JB | Tyč Ø16-220<br>ČSN 42 5510                    |          | 803-00-05  | 0,4      | 1                  |
| Podpěra L       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-06  | 1,3      | 1                  |
| Podpěra P       | Profil U 100x50x5-200<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-07  | 1,3      | 1                  |
| Držák stupačky  | Profil U 100x50x4-100<br>ČSN 42 6963          |          | 803-00-08  | 0,59     | 2                  |
| Opěrná deska    | Tyč PLO 60x10-80<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-00-09  | 0,38     | 4                  |
| Zemníčí pásek   | Plech P 3 – 30x100<br>ČSN 42 5310             |          | 803-00-10  | 0,1      | 1                  |
| Výztužný pásek  | Tyč PLO 30x5-95<br>ČSN 42 5340.01             |          | 803-00-11  | 0,1      | 2                  |
| Výztuha ramena  | Tyč PLO 100x5-100<br>ČSN 42 5340.01           |          | 803-00-12  | 0,55     | 2                  |
| Tělo objímky    | Profil U80-380<br>ČSN 42 5570                 |          | 803-01-02  | 1,9      | 2                  |
| Bok objímky     | Tyč PLO 80x10-85<br>ČSN 42 5340.01            |          | 803-01-02  | 0,5      | 4                  |

Příloha č. 03 – Výkres č. 784-00-00 – Sestava konzoly PAŘÁT-III-JB-N

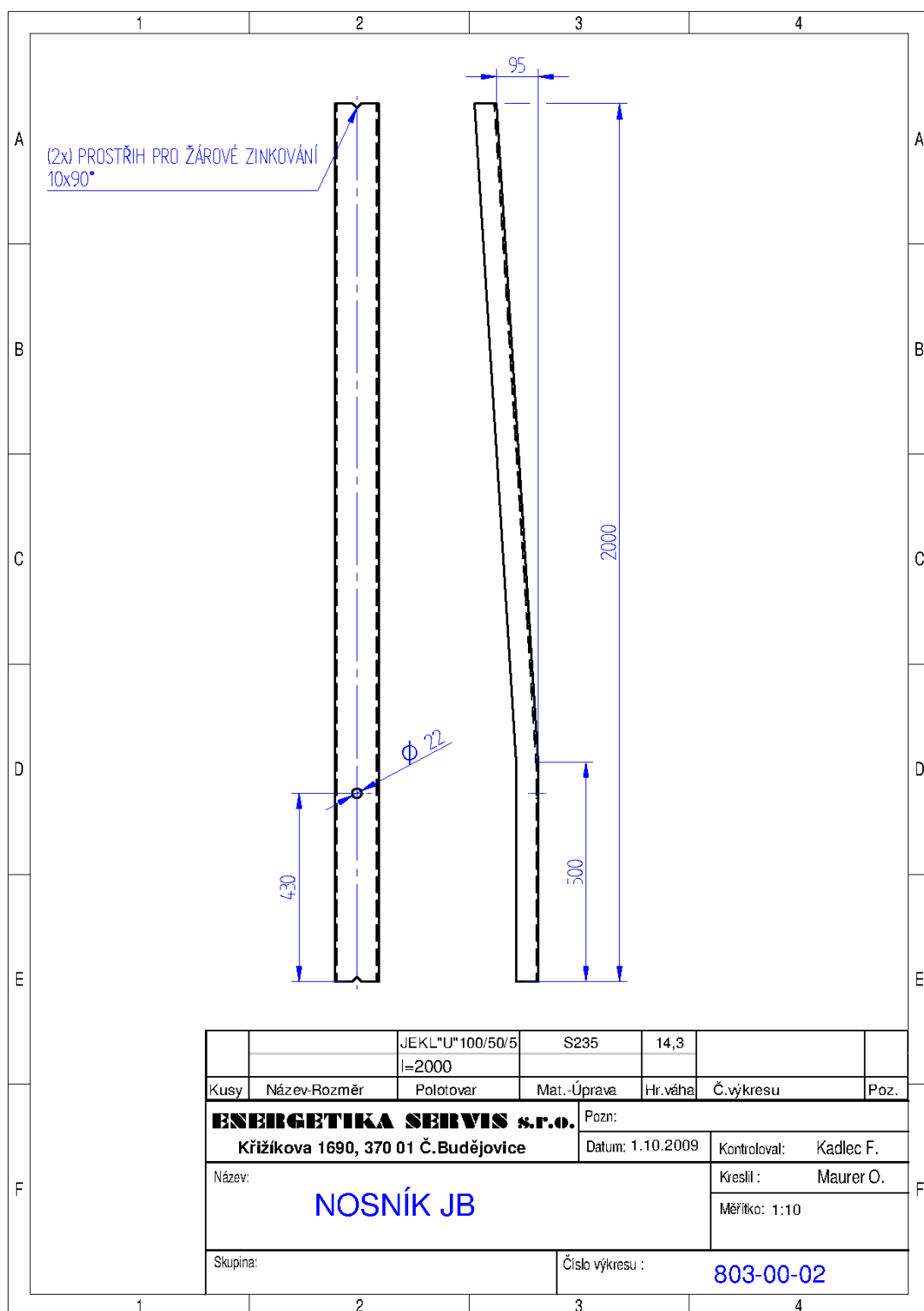




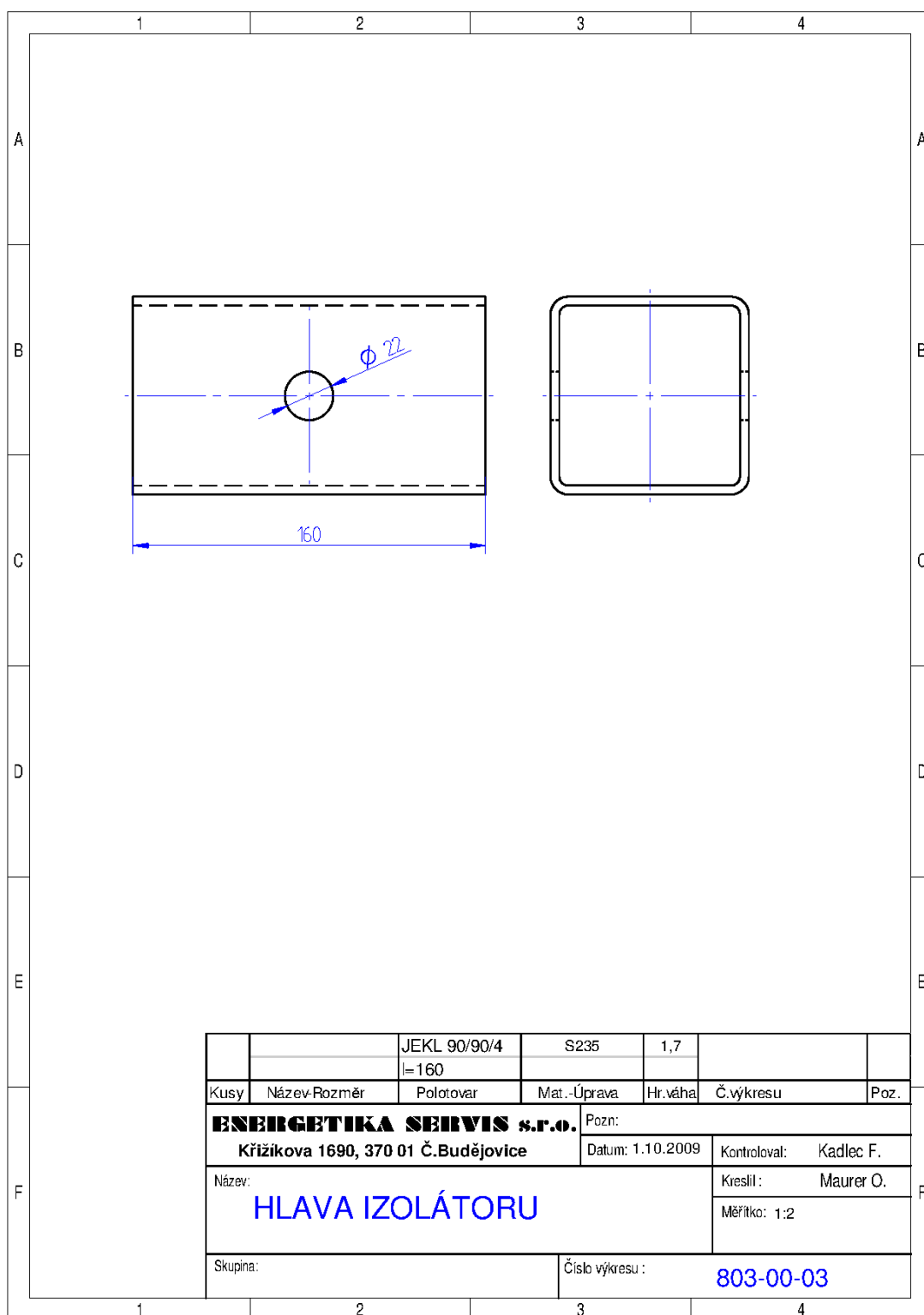
Příloha č. 04 - Výkres č. 784-00-01 – Rameno I.



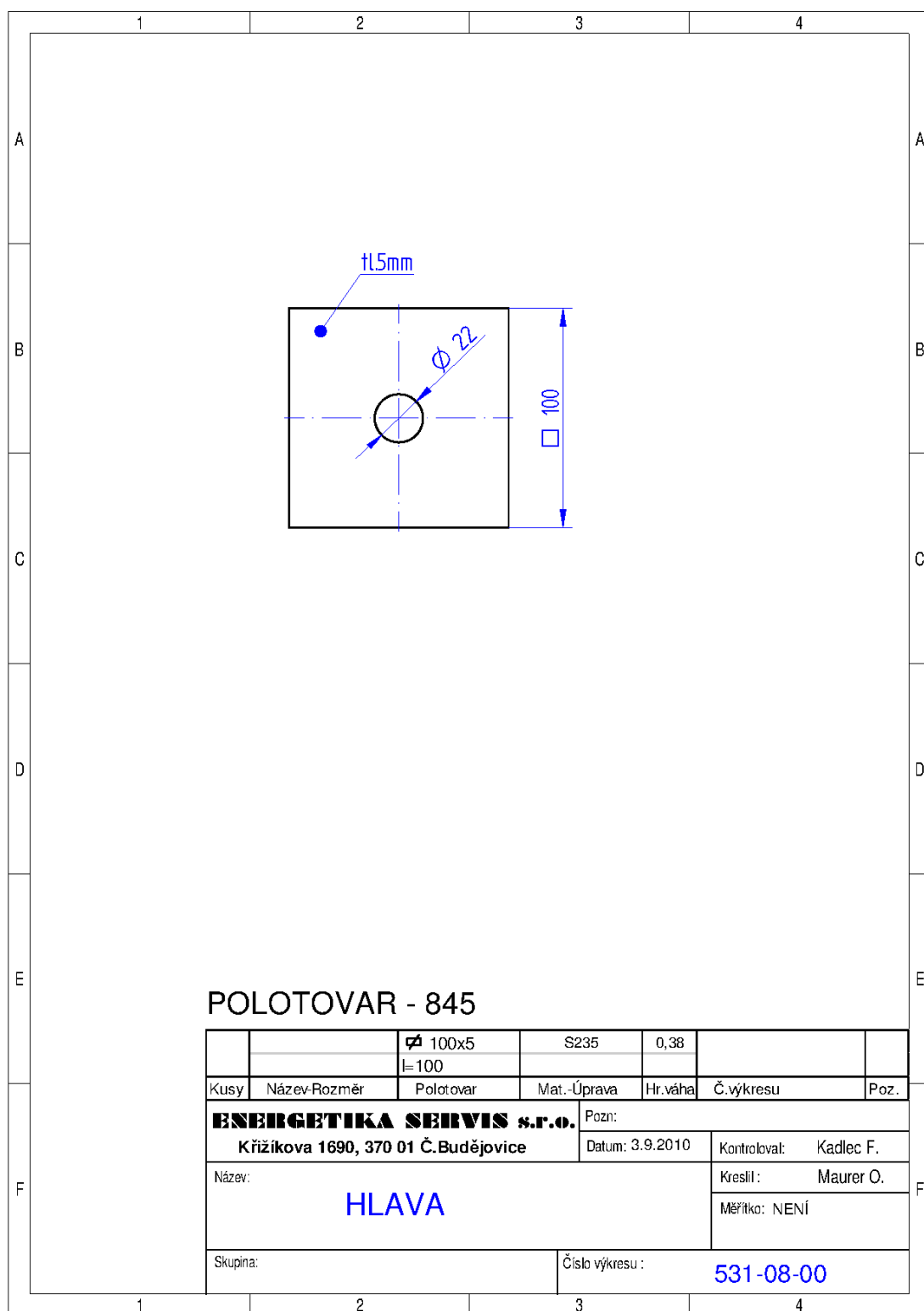
Příloha č. 05 - Výkres č. 803-00-02 – Nosník JB



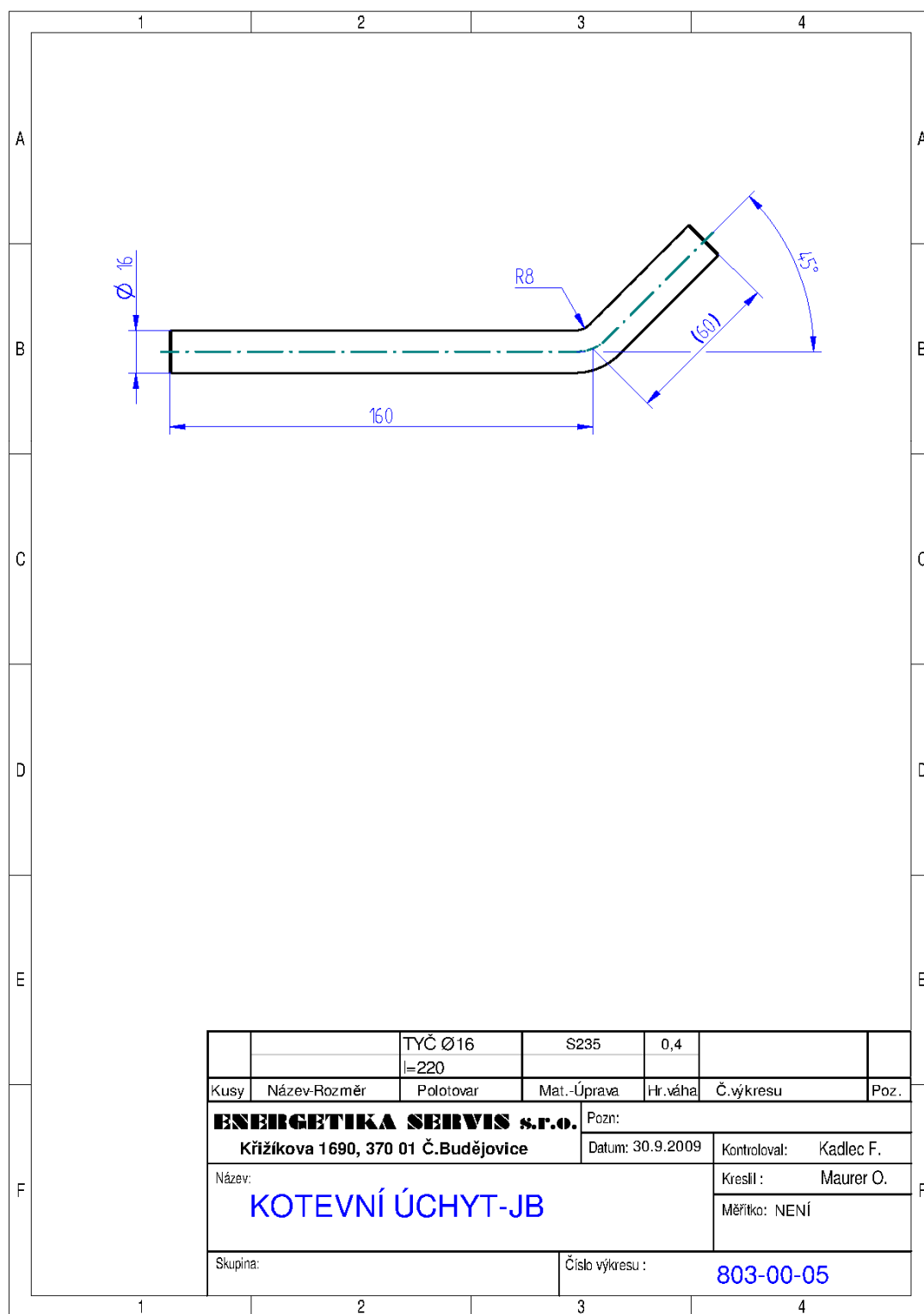
Příloha č. 06 - Výkres č. 803-00-03 – Hlava izolátoru



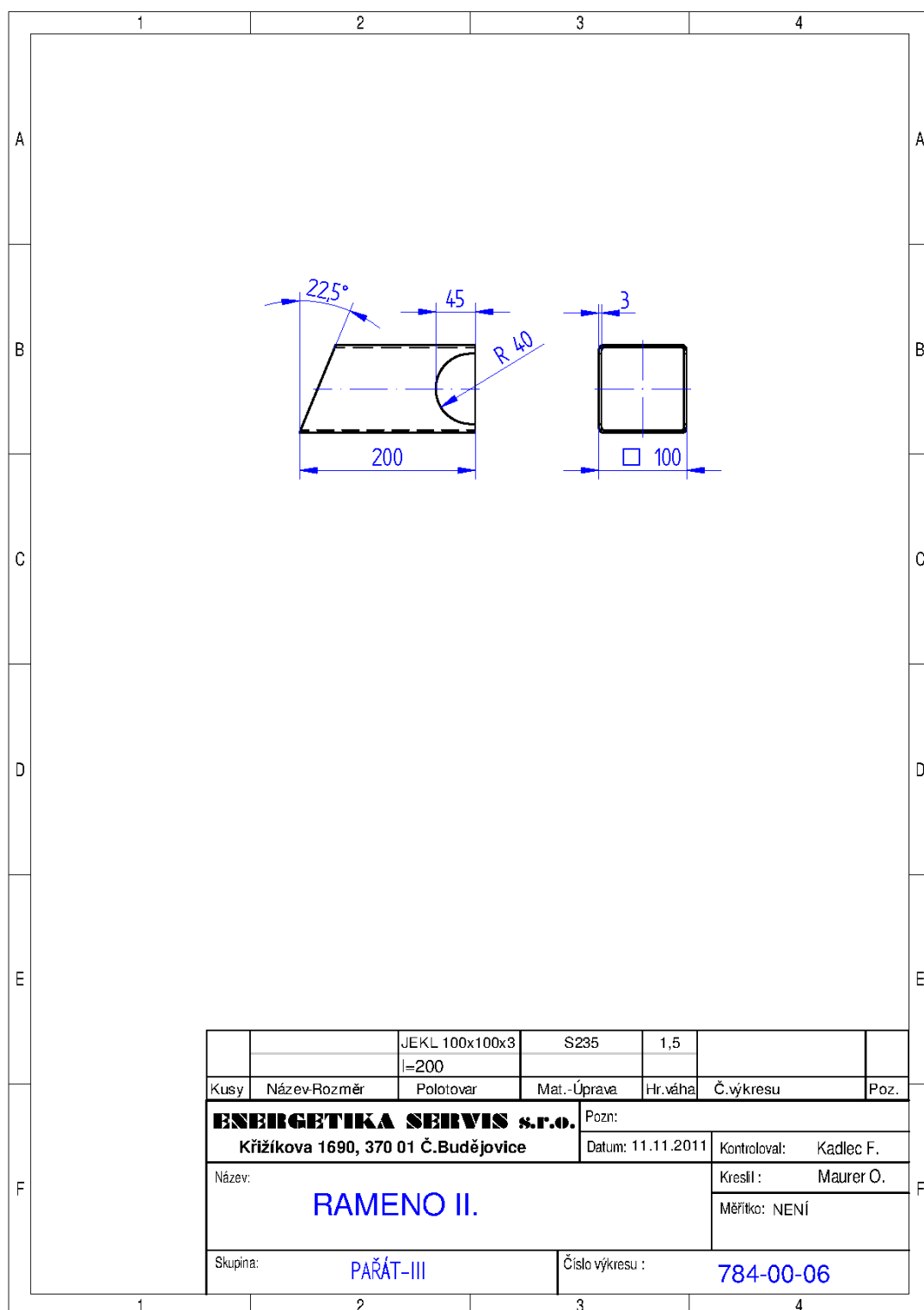
Příloha č. 07 - Výkres č. 531-08-00 – Hlava



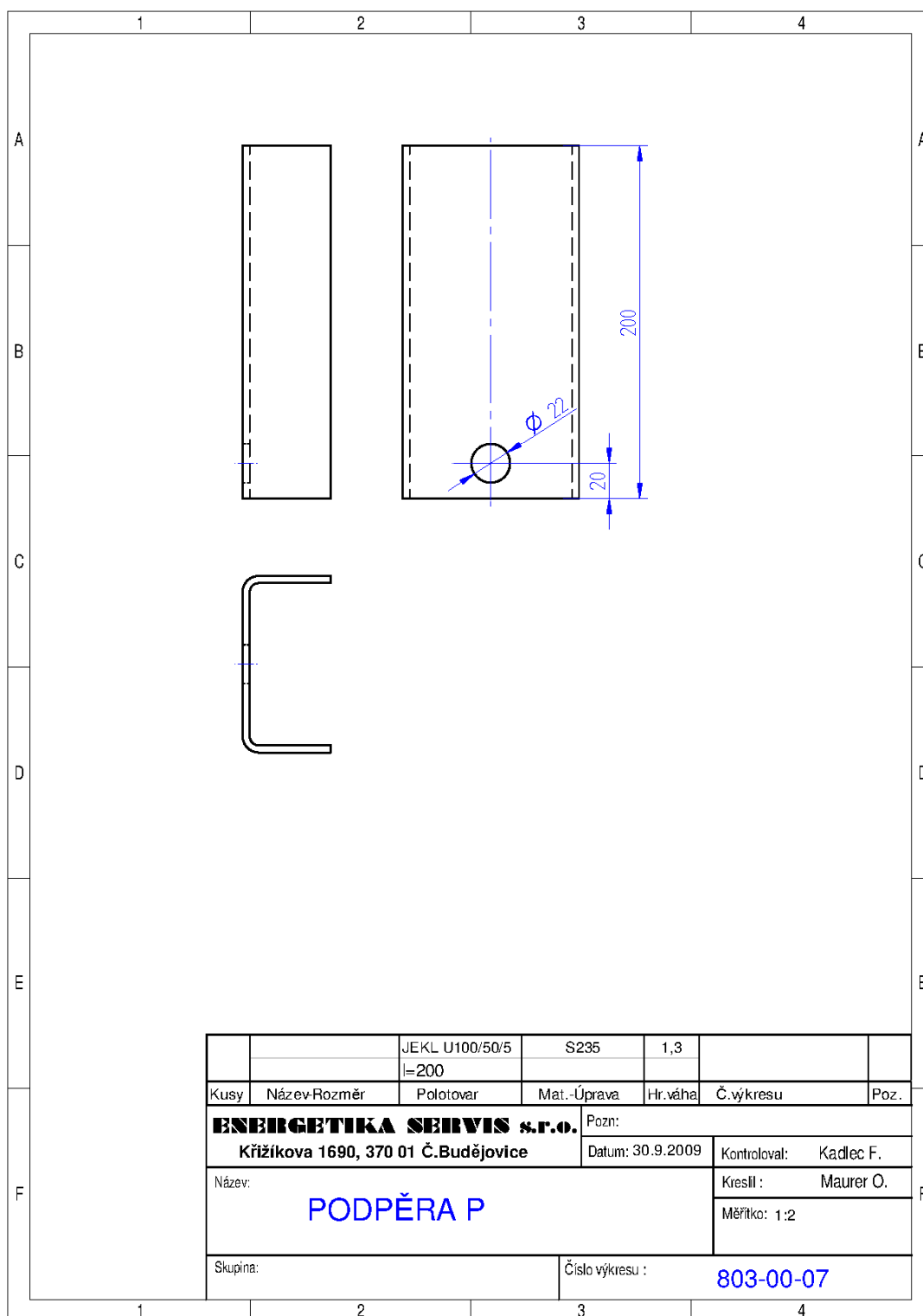
Příloha č. 08 - Výkres č. 803-00-05 – Kotevní úchyt – JB



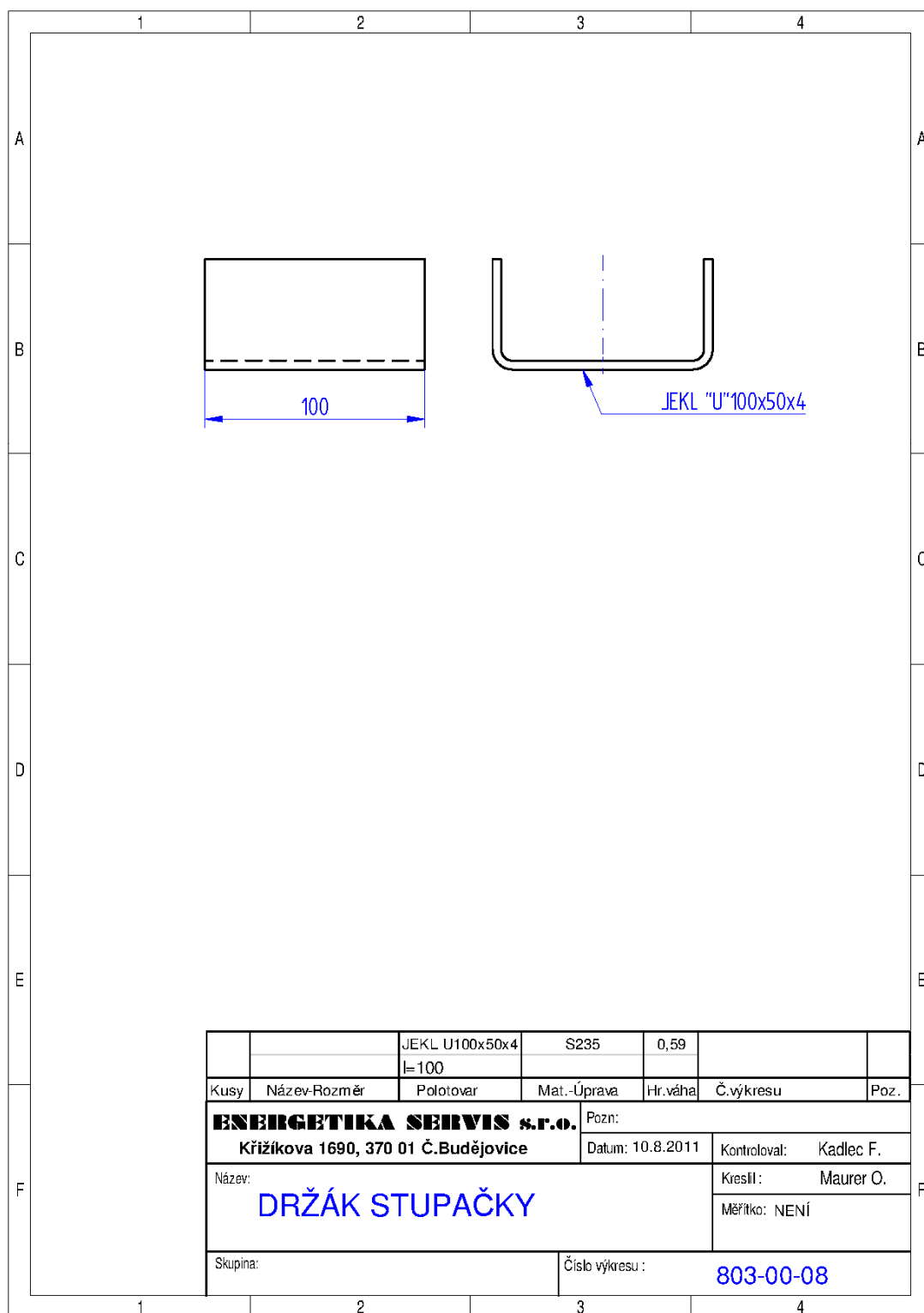
Příloha č. 09 - Výkres č. 784-00-06 – Rameno II.



Příloha č. 10 - Výkres č. 803-00-07 – Podpěra - P

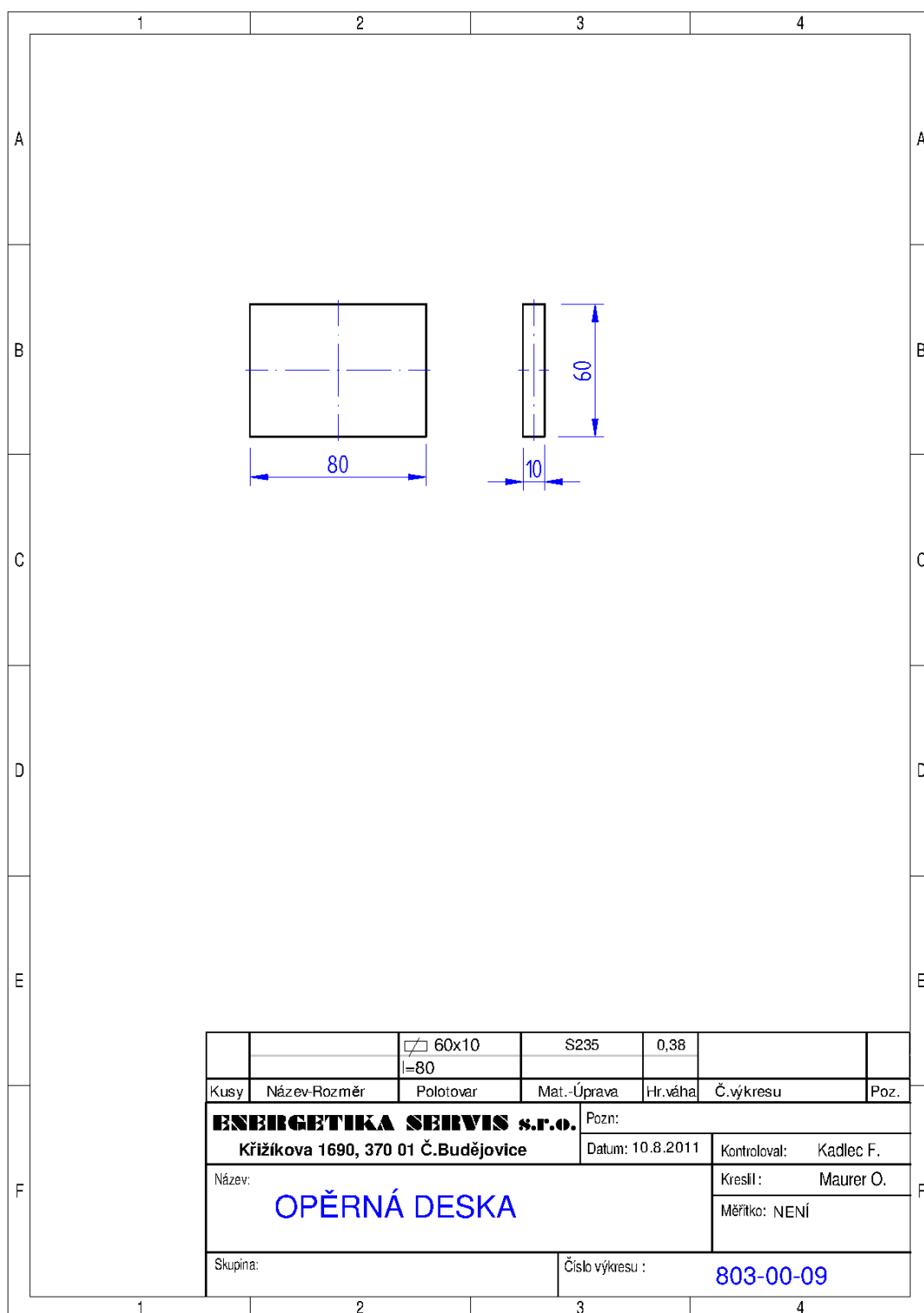


Příloha č. 11 - Výkres č. 803-00-08 – Držák stupačky

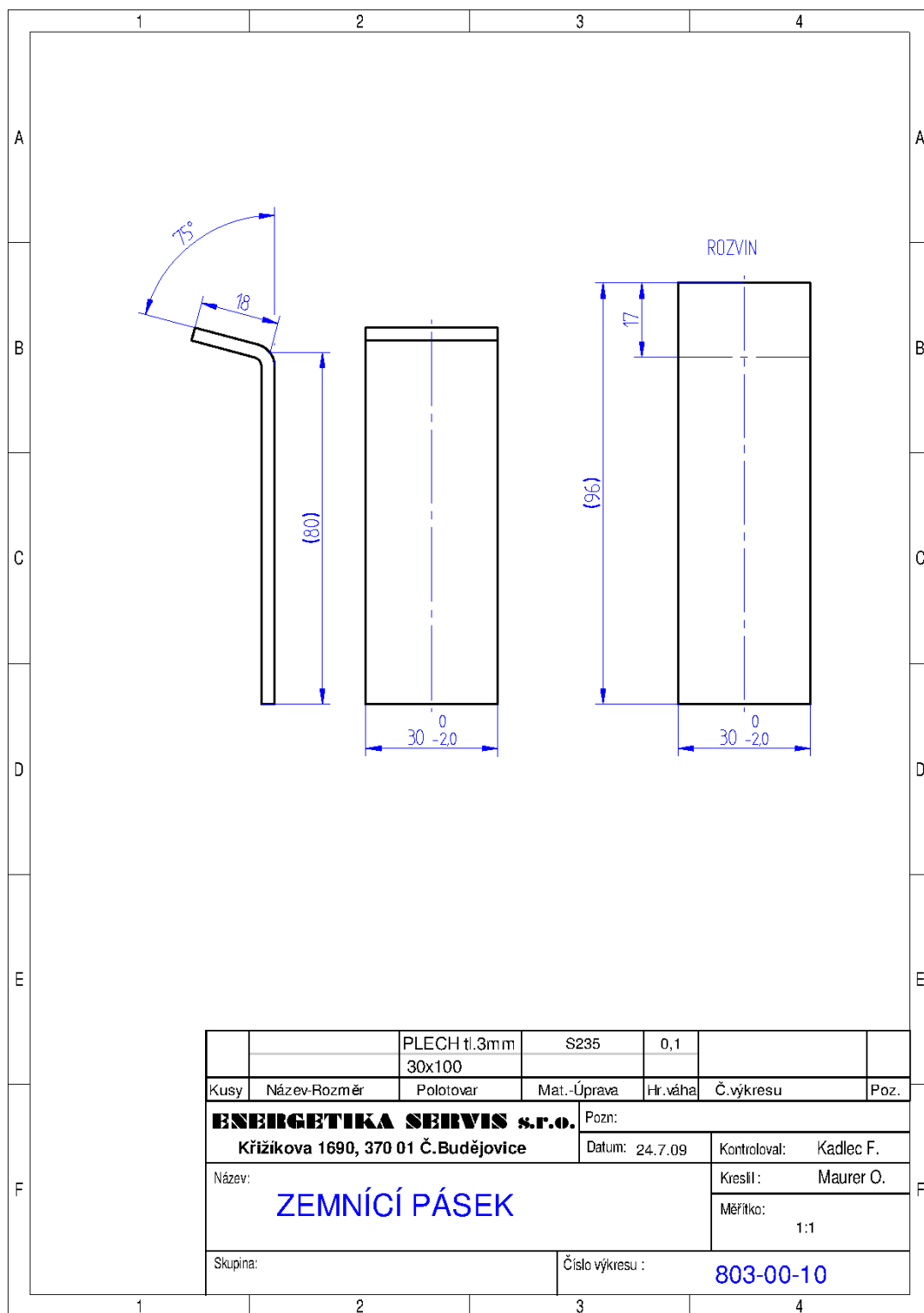




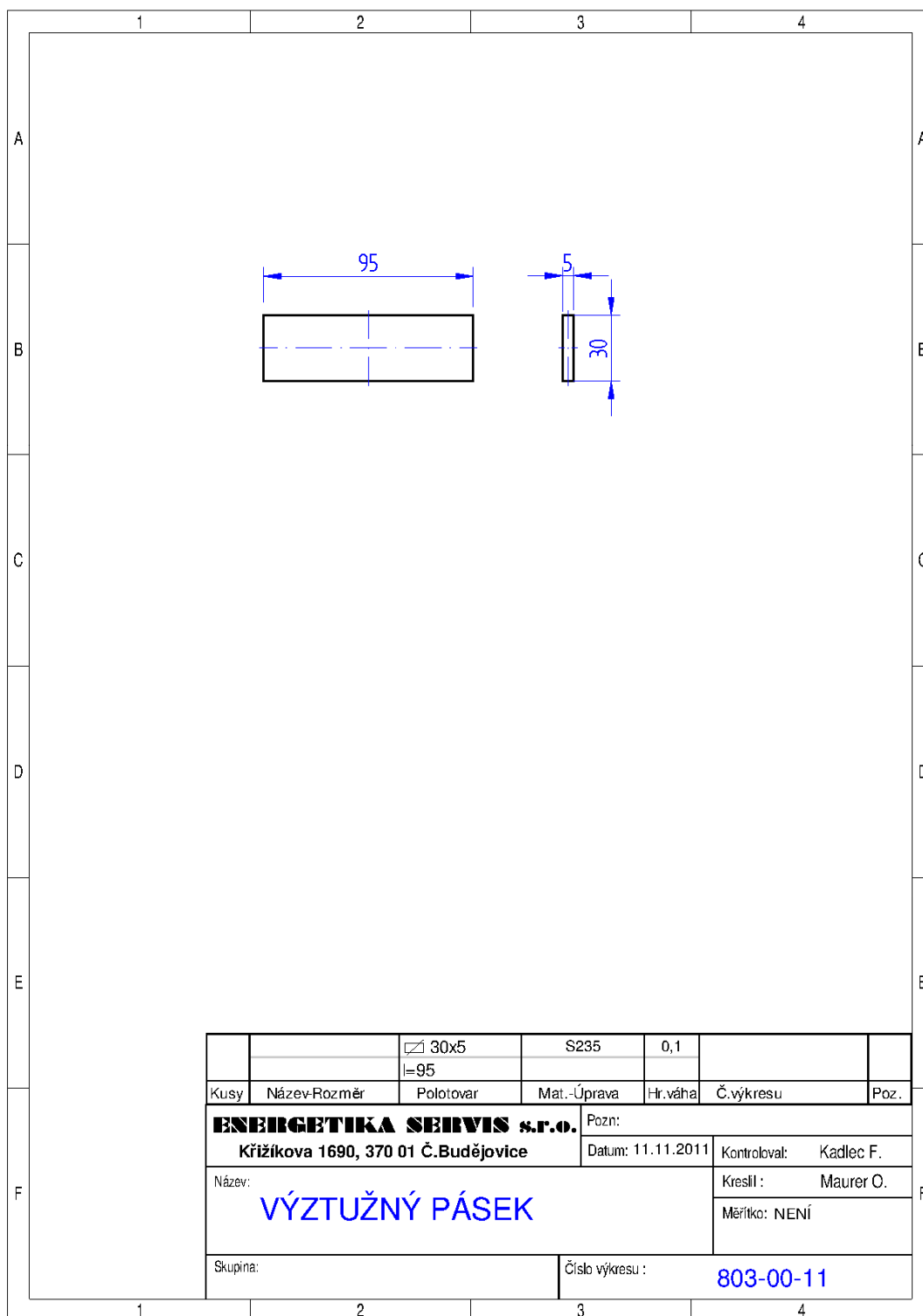
Příloha č. 12 - Výkres č. 803-00-09 – Opěrná deska



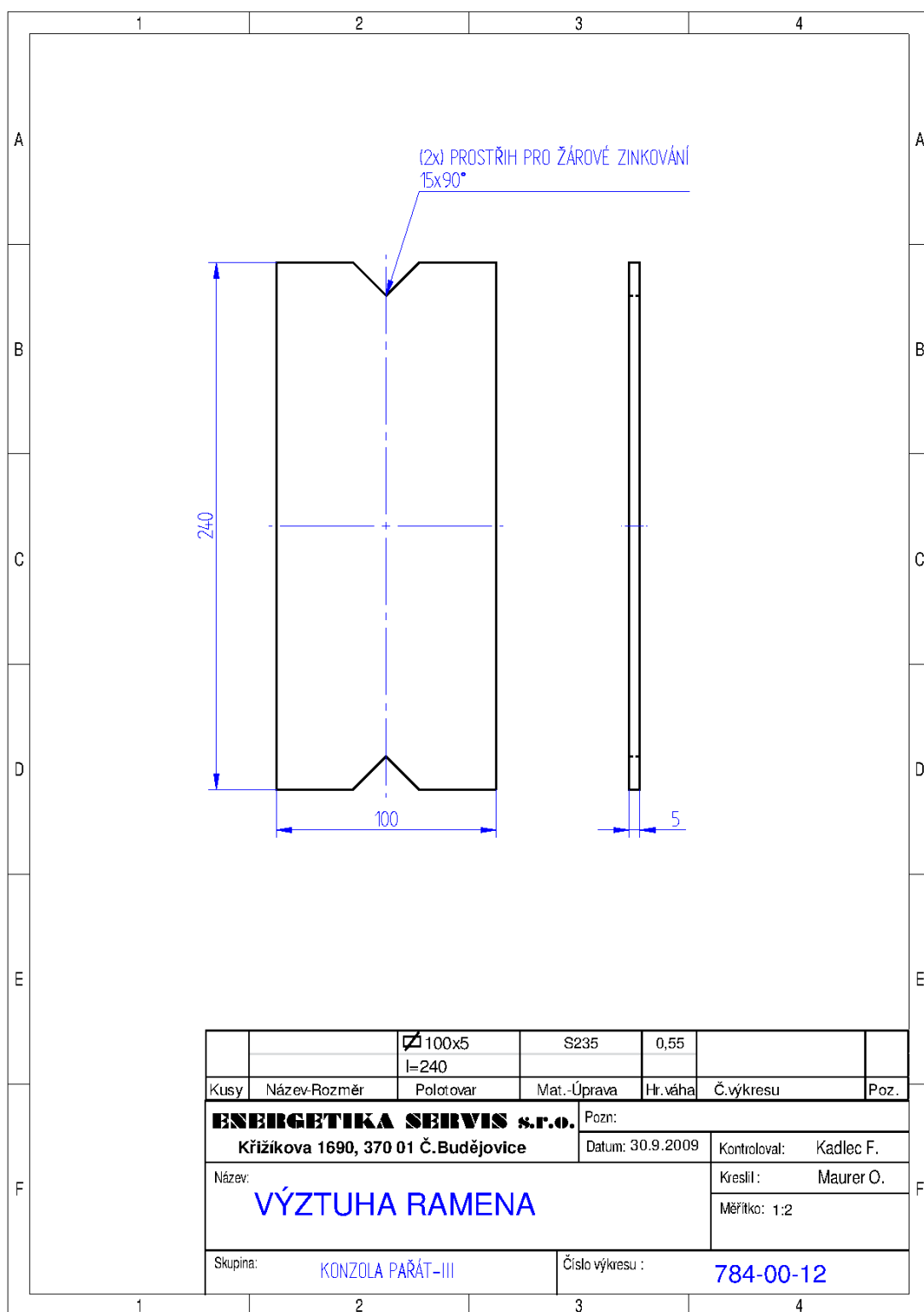
Příloha č. 13 - Výkres č. 803-00-10 – Zemní pásek



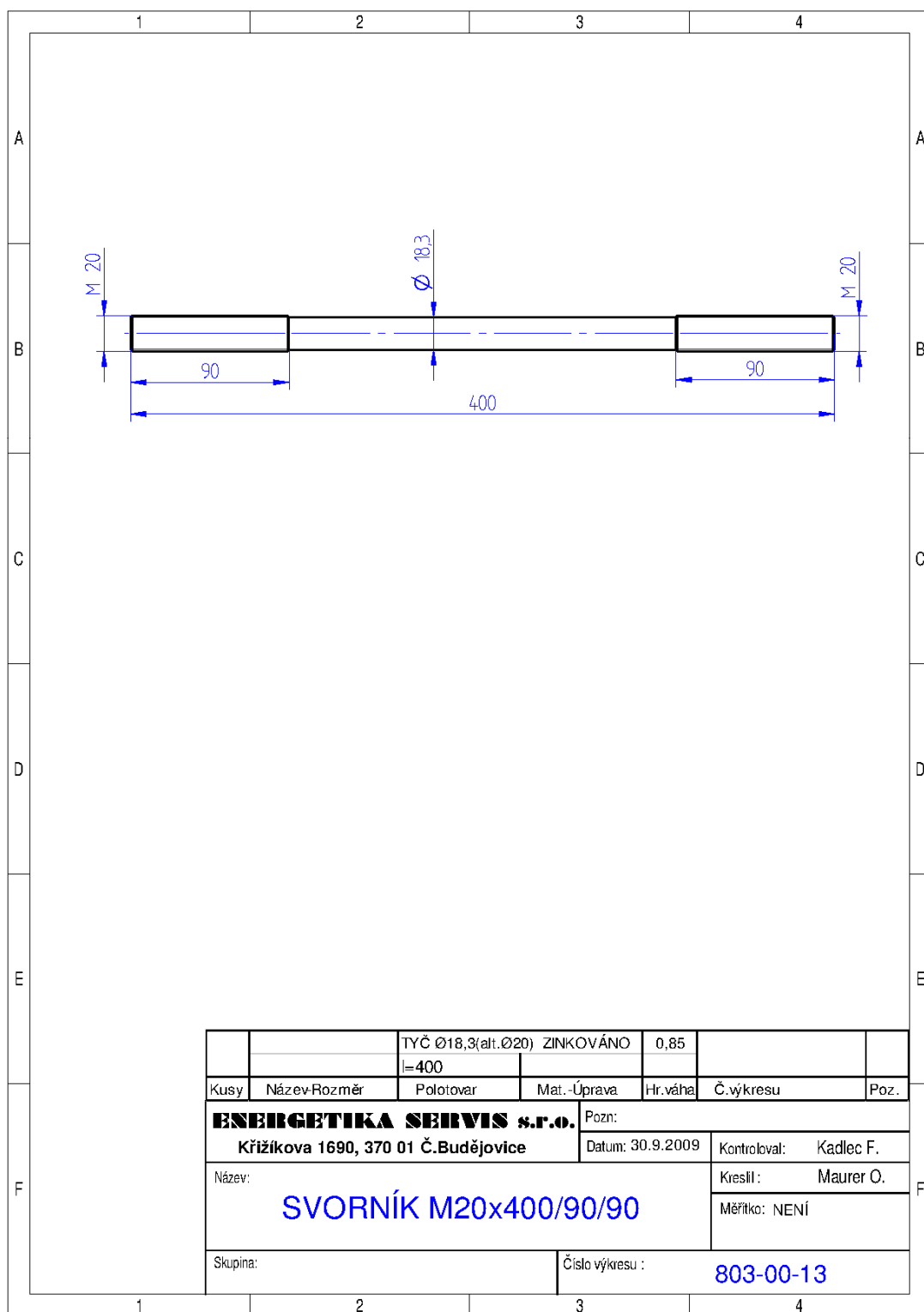
Příloha č. 14 - Výkres č. 803-00-11 – Výztužný pásek



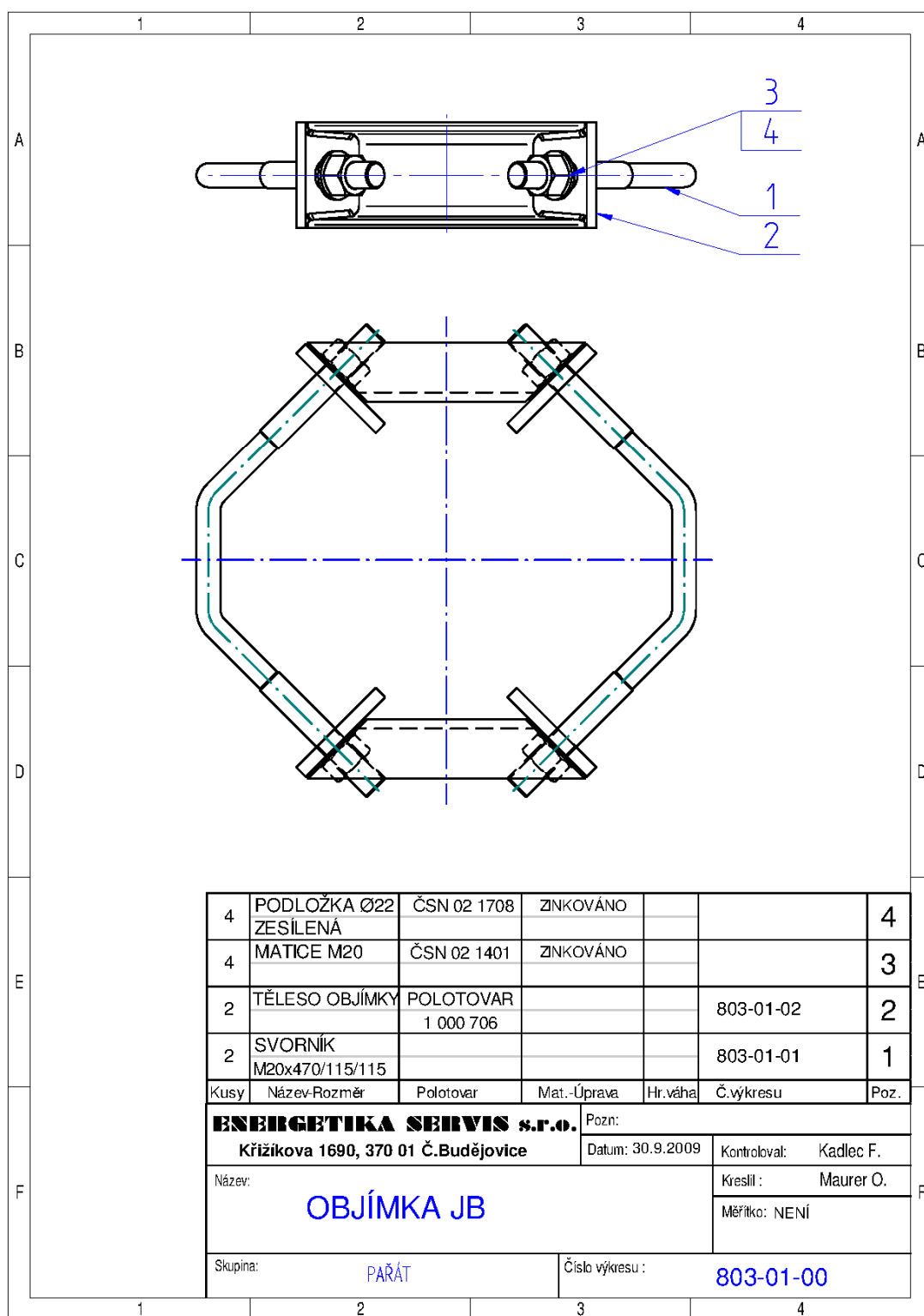
Příloha č. 15 - Výkres č. 784-00-12 – Výztuha ramena



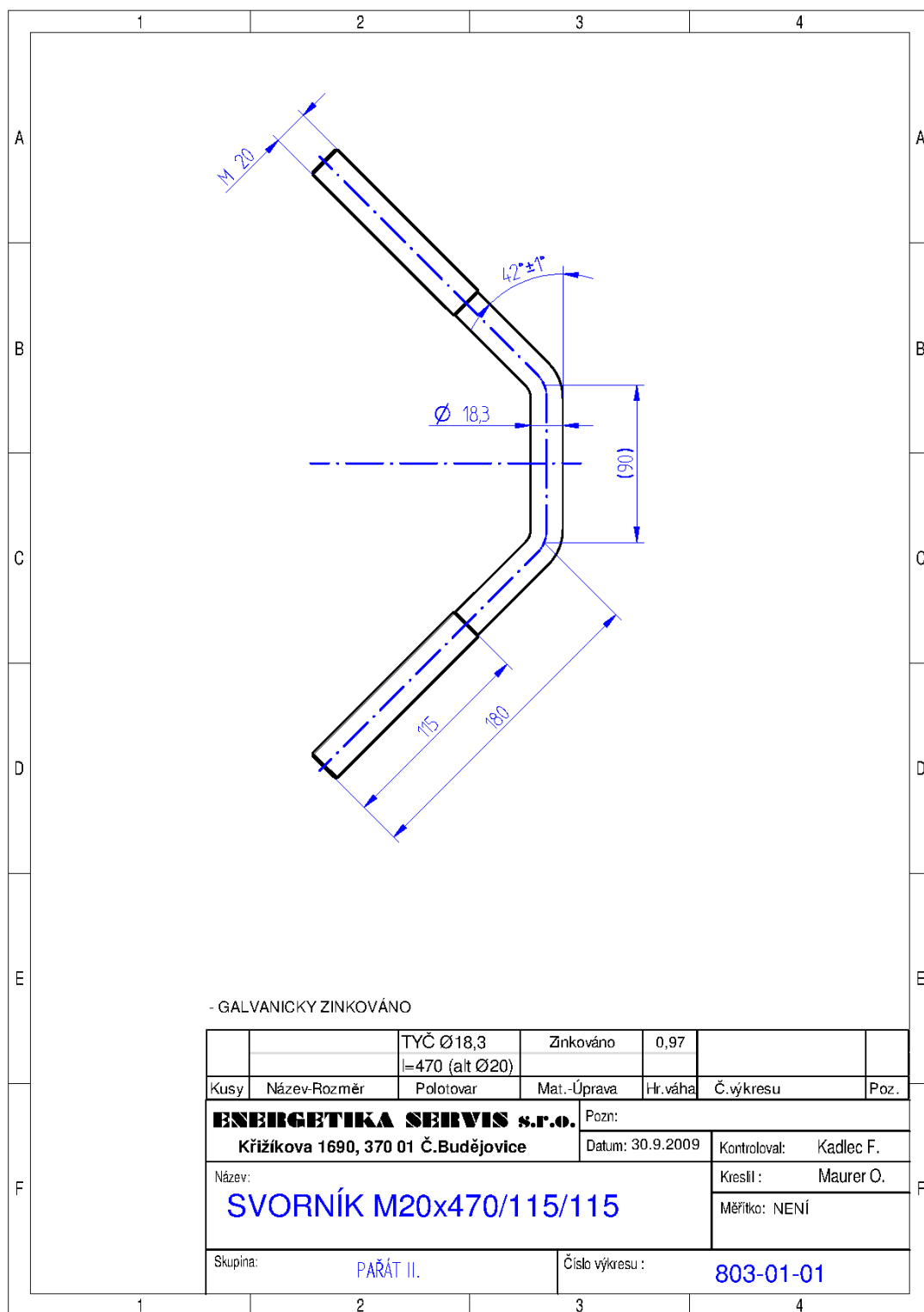
Příloha č. 16 - Výkres č. 803-00-13 – Svorník M20x400/90/90



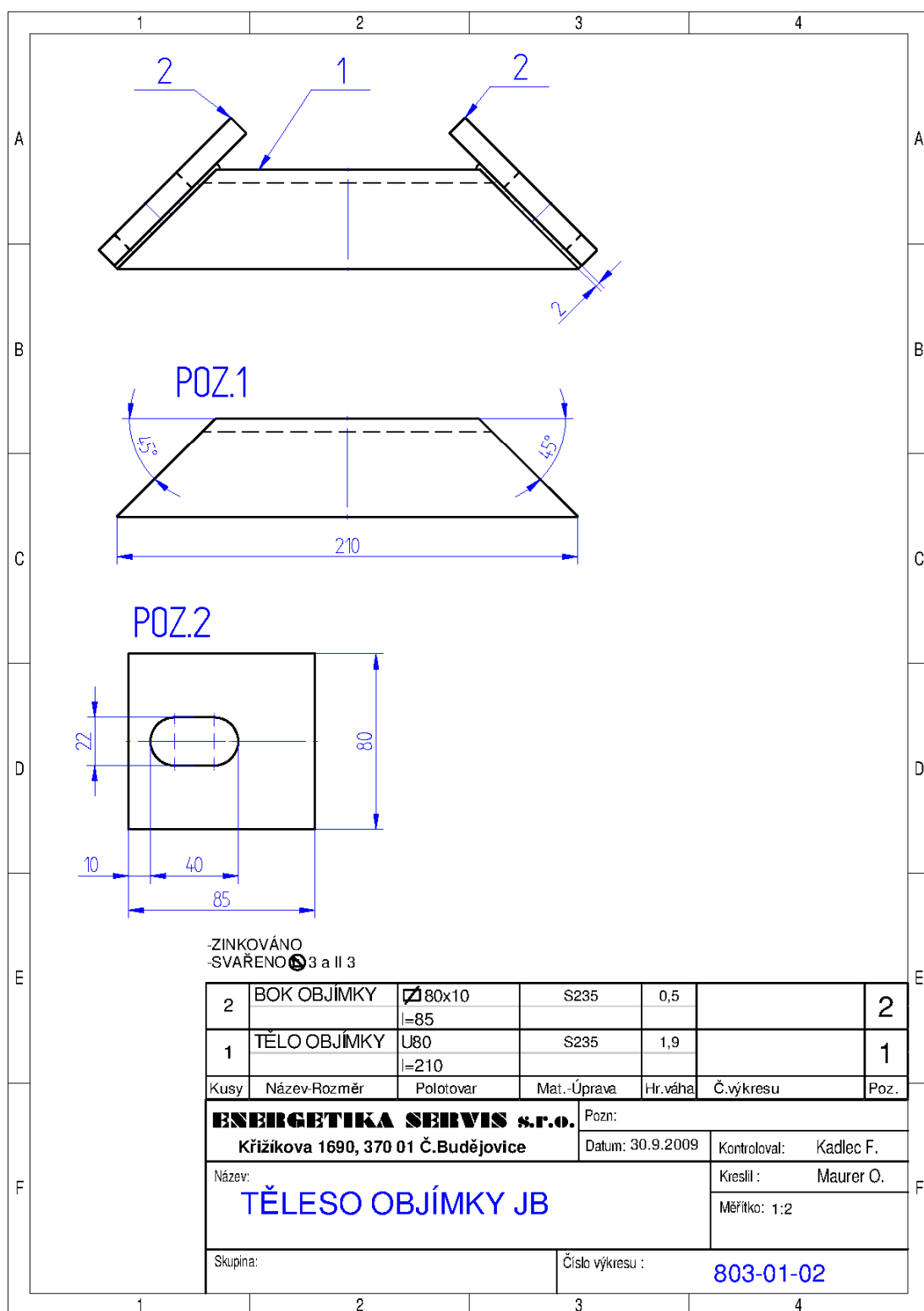
Příloha č. 17 - Výkres č. 803-01-00 – Sestava objímky JB



Příloha č. 18 - Výkres č. 803-01-01 – Svorník M20x470/115/115



Příloha č. 19 - Výkres č. 803-01-02 – Tělo objímky JB





## Příloha č. 20 – Certifikáty společnosti ES

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

### ES CERTIFIKÁT SYSTÉMU ŘÍZENÍ VÝROBY

č. 1020 – CPD – 020-025934

V souladu se směrnicí Rady 89/106/EHS ze dne 21. prosince 1989 o sblížení zákonů a dalších právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích - CPD), ve znění pozdějších předpisů Rady Evropských společenství, se potvrzuje, že stavební výrobek:

**Konstrukční kovové stavební díly do třídy provedení EXC-2**  
v rozsahu: Výroba a dílenská montáž ocelových konstrukcí  
Přehled použitých metod svařování (dle ČSN EN ISO 4063): 135  
Skupina(y) základních materiálů (dle TNI CEN ISO/TR 15608): 1.2  
Odpovědní pracovníci svářečského dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002

kteřé uvedl na trh:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

a byly vyrobeny ve výrobě:  
**Křížkova ulice č.p.1690, 37001 České Budějovice**

Jsou u výrobce podrobovány počátečním zkouškám typu výrobku a řízení výroby a dále zkouškám vzorků odebraným v místě výroby podle předepsaného zkušebního plánu a že notifikovaná osoba č.

**1020 - Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.**  
provedla počáteční inspekci v místě výroby a systému řízení výroby a vykonává průběžný dohled, posuzování a schvalování systému řízení výroby.  
Tento certifikát prokazuje, že byla uplatněna všechna ustanovení týkající se posuzování systému řízení výroby popsaného v příloze Za normy

**EN 1090-1**

Tento certifikát byl poprvé vydán 02.05.2011 a zůstává v platnosti, pokud se podmínky stanovené v harmonizované technické specifikaci, na niž byl uveden odkaz, nebo výrobní podmínky v místě výroby či systém řízení výroby výrazně nezmění.

 Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucího notifikované osoby

České Budějovice, 2. května 2011

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán  
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

Certifikační orgán č. 3015 akreditovaný ČIA podle ČSN EN 45011  
osvědčení o akreditaci č. 573/2009  
Pobočka 0200 – České Budějovice  
vydává

### CERTIFIKÁT

č. 020-025937

kterým osvědčuje, že organizace:  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
Křížkova ulice č.p.1690  
37001 České Budějovice  
IČ: 63911949

zavedla a používá proces svařování, který odpovídá  
**ČSN EN ISO 3834-2**  
v následujícím rozsahu:

**Ocelové konstrukce - konzoly**

Proces(y) svařování a příbuzné procesy: 135  
dle ČSN EN ISO 4063  
Skupina(y) základních materiálů: 1.1, 1.2  
dle TNI CEN ISO/TR 15608  
Odpovědní pracovníci svářečského dozoru: Miroslav Pávek č. EWT/CZ 04002  
Výrobové normy: ČSN EN 1090-2, ČSN EN ISO 3834-1.2  
ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817,  
ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Dokumenty mající vztah na shodu s ČSN EN ISO 3834-2: ČSN EN 1418, ČSN EN 287-1, ČSN EN ISO 5817, ČSN EN ISO 14555, ČSN EN ISO 15614, ČSN EN 1011

Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace procesu svařování č. 020-025936 ze dne 17.05.2011 vydaného TZÚS Praha, s.p. - pobočkou České Budějovice, který se předává zadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu.

Platnost certifikátu do: 17.05.2014

Osoba odpovědná za správnost tohoto certifikátu:

 Ing. Milan Pálka  
zástupce vedoucí certifikačního orgánu

České Budějovice, 17.05.2011

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 1807/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém managementu kvality v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 9001:2009**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

 S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 573/2009 ze dne 24.07.2009

**ZÚS** TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO CERTIFIKACI SYSTÉMU MANAGEMENTU  
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9- Prosek

VYDÁVÁ

### CERTIFIKÁT

č. 302/2010  
pro  
**ENERGETIKA SERVIS s.r.o.**  
České Budějovice, Křížkova ulice č.p.1690, PSČ 37001  
IČ: 63911949

Tento certifikát potvrzuje, že uvedená organizace vytvořila, dokumentuje, uplatňuje a udržuje systém environmentálního managementu v rozsahu:

- výroba ocelových konstrukcí
- opravy strojů

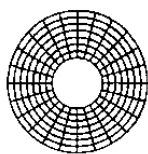
v souladu s požadavky normy  
**ČSN EN ISO 14001:2005**

Rozhodnuto v Praze dne 03.05.2010 Platnost do 03.05.2013

 S 3001  
Ing. Simon Palupčík, IWE  
vedoucí certifikačního orgánu

TZÚS Praha, s.p. je akreditován Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pod číslem 3001 podle ČSN EN ISO/IEC 17021.  
Současně platným je Osvědčení o akreditaci č. 317/2008 ze dne 24.07.2008

Příloha č. 21 – Atest přidavného materiálu pro svařování



**TYSWELD®**



0035  
07

**WORK'S CERTIFICATE**

0035-CPD-C907  
DIN EN 13479 + DIN EN 14341

Purchaser / Besteller :

Your order Number / Ihre Bestellnummer:  
Manufacturer/ Hersteller: Y.N.H.  
Quantity delivered/ Liefermenge: 22000 kg

**PROFI SVAR s.r.o.**

Lidická 209, 370 07 Č. Budějovice  
IČO 260 88 088 DIČ CZ26088088  
Mob.: 603 372 320, 605 144 345 (1)

**Inspection Certificate 3.1**  
**EN 10204-3.1 type 3.1 according to EN 10204:2004**  
**(3.1 B according to EN 10204:1991)**

*typ*

Number of Certificate/Zertifikat Nummer: 620811

Standard classification/ Normbezeichnung EN 14341: G38 2 C G3Si1 AWS A 5.18-93: ER70S-6 DIN:8559:SG-2

| Executive Standard/<br>Normbezeichnung | Mfg Date/<br>Eingangs/ Bestelldatum | Date of Issue/<br>Ausgangs/ Absendedatum |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| GB/T8110-1995                          | 2011.6                              | 2011.6                                   |

| Trade Mark/<br>Handelsname                  | Diameter/<br>Abmessung | Lot-/Heat No.<br>Serien-/Chargen- Nr. | Weight/<br>Gewicht |
|---------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Welding Wire/ Drahtelektrode<br>Tysweld SG2 | Ø 1.0                  | 832000                                | 32400kg            |

| Chemical Compositions of the welding wire/ Chemischer Aufbau der Schweißleitungen |                             |                                             |                     |                             |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Element/<br>Element                                                               | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat | Element/<br>Element | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches<br>Resultat |
| C                                                                                 | 0.06-0.15                   | 0.09                                        | Cr                  | --                          | --                                          |
| Mn                                                                                | 1.40-1.85                   | 1.54                                        | Ni                  | --                          | --                                          |
| Si                                                                                | 0.80-1.15                   | 0.96                                        | Mo                  | --                          | --                                          |
| S                                                                                 | ≤0.035                      | 0.013                                       | Cu                  | ≤0.50                       | 0.24                                        |
| P                                                                                 | ≤0.025                      | 0.012                                       | V                   | --                          | --                                          |

**Inspection Certificate 2.2 according to EN 10204:2004**

| Mechanical Properties of Deposited Metal/ Mechanischer Eigentum des Niedergesetzten Metalls |                             |                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Item/<br>Einzelheit                                                                         | Requirement/<br>Anforderung | Actual Result/<br>Tatsächliches Resultat |
| Tensile Strength/ Zugfestigkeit b (MPa)                                                     | ≥500                        | 538                                      |
| Yield Strength/ Dehngrenze 0.2 (MPa)                                                        | ≥420                        | 432                                      |
| Elongation/ Dehnung A5%                                                                     | ≥22                         | 28                                       |
| Impact Value/ Einfluß-Wert AKV(J)                                                           | ≥27                         | 56                                       |
| Impact Temp/ Einfluß Temp °C                                                                | - 29                        | - 29                                     |
| X-Ray/ X-Strahlen                                                                           | II                          | I                                        |

**Approvals / Zulassungen : TUV, DB-Zul.-Nr. 42.107.02, ABS**

This is to certify that the welding wire conforms with the above standards/ Diese Bescheinigung bestätigt die oben genannten Standards der Schweißleitungen

This certificate was issued by DP -equipment and does not require signature/  
Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift  
TIS 39-220 Pilzno ul. Blonia 5

Příloha č. 22 – Technické parametry nejtěžších používaných vodičů AlFe

| Název materiálu              |                            |                                        | 100/25 AlFe | 110/22 AlFe |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------|-------------|
| Modul pružnosti              | $E_{\text{vyp}}$           | MPa                                    | 81 360      | 77 450      |
| Činitel tepelné roztažnosti  | $\alpha_{\text{vyp}}$      | $\cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$       | 17,742      | 18,363      |
| Měrná hmotnost               | $\chi_{\text{vyp}}$        | $\cdot 10^{-3}\text{N/m}^3\text{mm}^3$ | 37,630      | 35,943      |
| Průměr vodiče                | $d_{\text{vodič}}$         | mm                                     | 14,60       | 14,96       |
| Matematický průřez vodiče    | $s_{\text{vodič}}$         | $\text{mm}^2$                          | 124,70      | 132,30      |
| Poměr Al / Fe                | $K_{\text{poměr}}$         | -                                      | 4,05        | 5,01        |
| Počet drátů v laně           | -                          | ks                                     | 12+18/1+6   | 11+17/1+6   |
| Zaručená celková pevnost     | $P_{\text{zar}}$           | N                                      | 43 560      | 42 030      |
| Měrná celková pevnost        | $P_{\text{měr}}$           | MPa                                    | 349,318     | 317,687     |
| Maximální dovolené namáhání  | $\sigma_{\text{dov max}}$  | MPa                                    | 132,741     | 120,721     |
| Dovolené doporučené namáhání | $\sigma_{\text{dov 90\%}}$ | MPa                                    | 119,467     | 108,649     |
| Jmenovitý trvalý proud       | $I_{40/70}$                | A                                      | 311         | 328         |
| Maximální odpor při 20°C     | $R_{20}$                   | $\Omega/\text{km}$                     | 0,284       | 0,259       |
| Hmotnost                     | m                          | $\cdot 10^{-3}\text{ kg/m}$            | 478,50      | 484,90      |
| Měrná jednotka               |                            | -                                      | kg          |             |
| Materiálové číslo KZM        |                            |                                        | 50 003 749  | 50 033 762  |

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



**AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY  
A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY**  
organizační složka státu

**ODBORNÉ STANOVISKO  
z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky**

**Předmět odborného stanoviska**  
Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Výrobce**  
ENERGETIKA SERVIS s.r.o.  
Křižíkova 1690, 37001 České Budějovice

**Použité podklady**

- žádost o zpracování odborného stanoviska ze dne 29. 2. 2012
- protokol o zkoušce č. 9596/11 – dielektrická ochrana ptáků pro konzoly 35 kV
- rozměrový náčrt Konzola pařát III-N-JB kat. č. 784-00

**Odborné stanovisko**

Na konzolách typu Pařát byly prokázány ojedinělé úhyny větších druhů ptáků při pokusu o dosednutí na šikmá ramena konzoly. Toto riziko by mělo být eliminováno instalací speciálních bidel umístěných pod hlavní konzolou. Dosavadní monitoring účinnosti těchto bidel prokázal, že ptáci velikosti káněte skutečně bidla k dosedání využívají. U menších dravců (zejména poštolka obecná) byly zaznamenány pokusy o dosednutí na vodorovnou výztuhu mezi bočními a středním ramenem konzoly. U ptáků velikosti poštolky je však úraz proudem při tomto způsobu dosednutí díky tělesným proporcím prakticky vyloučen. Výrobce navrhl navíc v místě napojení bočních ramen konzoly umístění šikmých vzpěr, které plní funkci optické i funkční bariéry. Uvedená bariéra omezí náhodné pokusy o dosedání ptáků větších rozměrů, u kterých může v těchto případech dojít k úrazu. Podle současných znalostí dosedací bidlo tedy pravděpodobně nezajistí stoprocentní bezpečnost, ale společně s navrženými zábranami omezí riziko úrazů na minimální úroveň. Konzola Pařát s bidlem je pro ptáky jednoznačně bezpečnější, než tatáž konzola bez bidla a zábran. Navržené parametry bidla (průměr 63 mm, zdrsněná povrchová úprava, délka 130 cm) považujeme za optimální. V případě užití tohoto typu konzoly v praxi, doporučujeme bidly osazovat každý sloup a volit různé způsoby umístění tzn. navrhovanou alternativu č. 1 a 2, jelikož ptáci usedají na bidla podle směru větru, rušivých vlivů v okolí, výskytu možné kořisti apod.

**Závěr**

Snaha o zajištění ochrany ptáků na vedení vysokého napětí vychází ze zákonů č. 458/2000 Sb., v platném znění a zákona č. 114/1992 Sb., v platném znění. AOPK ČR byla Ministerstvem životního prostředí pověřena k provádění hodnocení výrobků a zařízení využívaných v distribuční síti z hlediska bezpečnosti pro volně žijící ptáky. Na základě současného poznání AOPK ČR souhlasí s instalací Konzoly pařát III-N-JB kat. č. 784-00 do distribučního zařízení. Navržené řešení lze považovat pro ptáky za jednoznačně bezpečnější, než ponechání konzoly bez ochranných prvků a dosedacího bidla. Předložený návrh považuje AOPK ČR za posun v zajištění ochrany ptáků na

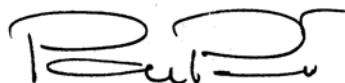
sloupech VN. Instalaci bidel doporučujeme na každý sloup s jejich alternativním umístěním dle předložené dokumentace. Vzhledem k tomu, že instalace dosedacího bidla nemůže patrně zajistit stoprocentní bezpečnost ptáků, bude jejich účinnost dále v provozu průběžně sledována a v případě potřeby bude doporučena úprava řešení. Výše uvedené předpoklady jsou platné pouze za podmínek existence a funkčnosti všech navržených prvků. Garanci kvality použitých materiálů a montážních postupů zajišťuje výrobce. Za správnost instalace odpovídá dodavatel stavby a příslušná energetická společnost.

Odborné stanovisko obsahuje 2 strany

Praha dne: 19. 06. 2012

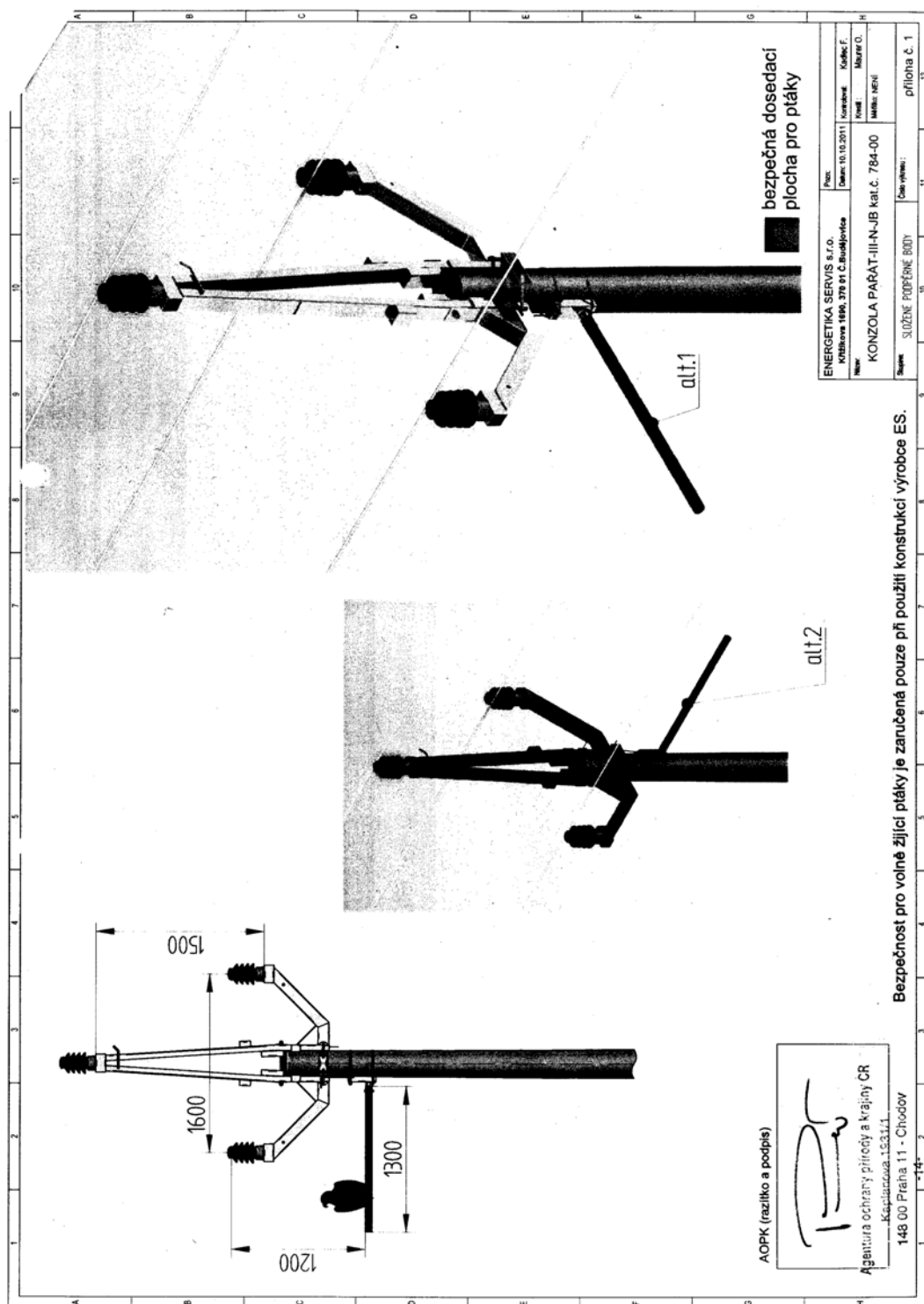
Vypracovali:  
Ing. Václav Hlaváč  
Ing. Helena Neuwirthová  
Ing. Martina Koubová

Schválil:



Ing. Pavel Pešout  
NÁMĚSTEK ŘEDITELE

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
Kaplanova 1931/1  
148 00 Praha 11 - Chodov  
-14-



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

Podpis

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical Univesity of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

If I use my thesis of grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I play the expenses invested in the cretion of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

Signature